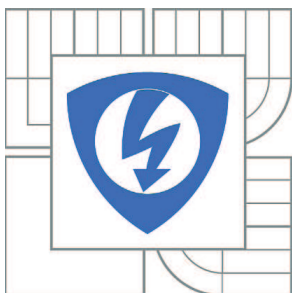


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ČTYŘKANÁLOVÝ AUTOZESILOVAČ SPÍNANÉ KONCEPCE

SWITCHED FOUR-CHANNEL CAR AMPLIFIER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

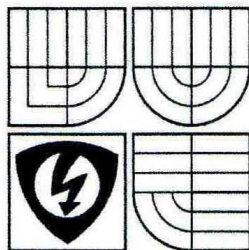
LUKÁŠ LEV

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. LUBOMÍR BRANČÍK, CSc.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Lukáš Lev

Ročník: 3

ID: 106594

Akademický rok: 2009/10

NÁZEV TÉMATU:

Čtyřkanálový autozesilovač spínané koncepce

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proveďte návrh zapojení čtyřkanálového zesilovače spínané koncepce pro použití v automobilu, včetně návrhu vhodného korekčního předzesilovače. Zesilovač by měl dosahovat výstupního výkonu minimálně 4 x 50 W. Vlastnosti navržených zapojení ověřte simulacemi v programu PSpice.

Na základě předchozích prací proveďte návrhy desek plošných spojů v programu Eagle. Proveďte kompletní konstrukci autozesilovače, včetně korekčního předzesilovače. Zapojení oživte, proměřte jeho základní parametry a srovnajte s parametry obdrženými počítačovou simulací.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ŠTÁL, P. Výkonové audio zesilovače pracující ve třídě D - základní principy a konstrukce. Praha: BEN - technická literatura, 2008.

[1] KOTISA, Z. NF zesilovače 1. - předzesilovače. Praha: BEN - technická literatura, 2002.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 28.5.2010

Vedoucí práce: prof. Ing. Lubomír Brančík, CSc.

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Lukáš Lev
Bytem: Martinů 417, Litvínov, 436 01
Narozen/a (datum a místo): 8. února 1988 v Mostě

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☒ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Čtyřkanálový autozesilovač spínané koncepce

Vedoucí/ školitel VŠKP: prof. Ing. Lubomír Brančík, CSc.

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy
(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 28. května 2010

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT

Tématem této semestrální práce je návrh čtyřkanalového autozesilovače spínané koncepce s minimálním výstupním výkonem 4x50W, s korekčním předzesilovačem a vhodným napájecím zdrojem. Tento zesilovač je řešen pomocí výkonového zesilovače ve třídě D s integrovaným obvodem TAS5630, předzesilovačem MAX5486 a zvyšujícím DC/DC měničem LTC3862.

KLÍČOVÁ SLOVA

Autozesilovač, zesilovač, předzesilovač, korekční předzesilovač, DC/DC měnič TAS5630, MAX5486, LTC3862.

ABSTRACT

The topic of this semester project is the design quadraphonic car-amplifier switching concepts with a minimum output power 4x50W, with correction preamplifier and appropriate power source. This amplifier is realized by using a power amplifier in class D integrated circuit TAS5630, preamplifier MAX5486 and increasing DC / DC converter LTC3862.

KEYWORDS

Car-amplifier, amplifier, preamplifier, correction preamplifier, DC/DC converter, TAS5630, MAX5486, LTC3862.

LEV, L. *Čtyřkanálový autozesilovač spínané koncepce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 39s., 19s. příloh
Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Lubomír Brančík, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Čtyřkanálový autozesilovač spínané koncepce jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Lubomíru Brančíkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	vi
Seznam tabulek	vii
Úvod	1
1 Základní části zesilovače	2
1.1 Korekční předzesilovač.....	2
1.2 Výstupní výkonový zesilovač.....	2
1.3 Zdroj napájení	3
2 Korekční předzesilovač	4
2.1 Výběr vhodného obvodu.....	4
2.2 Obvod MAX5486	4
2.2.1 Pouzdro obvodu MAX5486.....	5
2.2.2 Ovládání obvodu MAX5486	6
2.2.3 Napájení obvodu MAX5486.....	7
2.2.4 Použití obvodu MAX5486 v zapojení zesilovače.....	8
3 Výstupní výkonový zesilovač	9
3.1 Výběr vhodného obvodu.....	9
3.2 Obvod TAS5630	9
3.2.1 Pouzdro obvodu TAS5630.....	9
3.2.2 Režimy obvodu TAS5630	12
3.3 Obvody potřebné pro činnost TAS5630	13
3.3.1 Obvod OPA1632.....	13
3.3.2 Ostatní doplňková zapojení obvodu TAS5630	15
4 Zdroj napájení	16
4.1 Výběr vhodného obvodu.....	16
4.2 Obvod LTC3862	16
4.2.1 Návrh zvyšujícího DC-DC měniče pomocí obvodu LTC3862	16
4.3 Zapojení obvodu LTC3862.....	18

5	Návrh desek plošných spojů	20
5.1	Deska plošného spoje s obvodem MAX5486.....	20
5.2	Deska plošného spoje s obvodem OPA1632	20
5.3	Deska plošného spoje s obvodem TAS5630.....	21
6	Oživení zapojení	21
6.1	Oživení zapojení s obvody MAX5486 a OPA1632.....	21
6.2	Oživení zapojení koncového stupně s obvodem TAS5630	22
7	měření charakteristik zapojení	22
7.1	Měření charakteristik obvodu MAX5486.....	22
7.1.1	Závislost útlumu na pozici ukazatele Volume.....	22
7.1.2	Měření charakteristiky BALANCE	24
7.1.3	Měření přeslechu mezi kanály	26
7.1.4	Měření harmonického zkreslení.....	27
7.1.5	Měření vstupního odporu.....	27
7.2	Měření charakteristik obvodu OPA1632	28
7.2.1	Měření Modulové kmitočtové charakteristiky.....	28
7.2.2	Měření harmonického zkreslení obvodu OPA1632.....	30
7.3	Měření výstupní části s obvodem TAS5630.....	31
7.3.1	Měření Modulové kmitočtové charakteristiky obvodu TAS5630	31
7.3.2	Měření maximálního výstupního výkonu a zkreslení.....	32
7.3.3	Měření účinnosti	33
7.3.4	Měření vstupního odporu zesilovače	33
7.3.5	Měření výstupního odporu zesilovače	33
7.3.6	Určení činitele tlumení zátěže.....	34
7.3.7	Použité měřicí přístroje.....	34
8	Návrh uložení částí zesilovače	34
9	Závěr	36
	Literatura	39
	Seznam příloh	40

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Blokové schéma jednoduchého 4-kanálového zesilovače.....	2
Obr. 1.2 Principiální blokové schéma výkonového audio zesilovače pracujícího ve třídě D (převzato z [1])......	3
Obr. 2.1 Pouzdro obvodu MAX5486 (Převzato z [2]).	5
Obr. 3.1 64-pinové pouzdro PHD obvodu TAS5630 (Převzato z [3]).	10
Obr. 3.2 Simulace úpravy signálu s obvodem OPA1632 provedená v programu Tina-TI	14
Obr. 3.3 Simulace aktivní dolní s propusti obvodem OPA1632 provedená v programu Tina-TI	14
Obr. 4.1 Simulace obvodového zapojení s LTC3862 v programu LTspice IV.....	18
Obr. 4.2 Spínací signály pro externí tranzistory obvodu LTC3862 (simulace v LTspice IV).....	19
Obr. 7.1 Graf závislosti útlumu na pozici ukazatele Volume obvodu MAX5486.....	24
Obr. 7.2 Graf závislosti útlumu na pozici ukazatele Balance obvodu MAX5486.....	26
Obr. 7.3 Graf Modulové kmitočtové charakteristiky zapojení s obvodem OPA1632...	29
Obr. 7.4 Graf modulové kmitočtové charakteristiky zapojení s obvodem TAS5630.....	32
Obr. 8.1 Návrh přístrojové krabice vhodné pro uložení zesilovače.....	35
B1.9.1 DPS obvodu MAX5486 pohled TOP, měřítko 1:1	47
B1.9.2 DPS obvodu MAX5486 pohled BOTTOM, měřítko 1:1	47
Obr. 9.3 Fotografie zapojení pro úpravu signálu s obvodem OPA1632.....	58
Obr. 9.4 Fotografie zapojení digitálního potenciometru s obvodem MAX5486.....	58
Obr. 9.5 Fotografie zapojení výstupní části s obvodem TAS5630	59

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Funkce a názvy pinů obvodu MAX5486(Převzato a přeloženo z [2]).	5
Tab. 2.2 Pozice hlasitosti útlumu signálu (Převzato z [2]).	6
Tab. 2.3 Nastavení LED diod v režimu hlasitosti (Převzato[2]).	7
Tab. 2.4 Vyvolaná akce v závislosti na délce trvání stisku tlačítka (Převzato z [2]).	7
Tab. 3.1 Popis pinů pouzdra PHD obvodu TAS5630 (Převzato a přeloženo z [3]).	10
Tab. 3.2 Pracovní režimy obvodu TAS5630 a režim vstupního signálu (Převzato z [3]).	12
Tab 7.1 Závislost útlumu na pozici ukazatele Volume	22
Tab 7.2 Závislost útlumu na pozici ukazatele Balance	25
Tab 7.3 Přeslechy digitálního potenciometru MAX5486 ($U_{IN} = 775\text{mV}$, $f = 1\text{ kHz}$)	27
Tab 7.4 Harmonické zkreslení obvodového zapojení MAX5486	27
Tab 7.5 Modulová kmitočtová charakteristika obvodu s OPA1632	28
Tab 7.6 Zesílení vstupního signálu zapojením s obvodem OPA1632	30
Tab 7.7 Modulová kmitočtová charakteristika výstupní části s obvodem TAS5630	31
Tab 8.1 Seznam součástek pro desku plošného spoje digitálního potenciometru s obvodem MAX5486	54
Tab 8.2 Seznam součástek pro desku plošného spoje s obvodem OPA1632	55
Tab 8.3 Seznam součástek pro desku plošného spoje s obvodem TAS5630	56
Tab 8.4 Seznam dodatečných součástek	57

ÚVOD

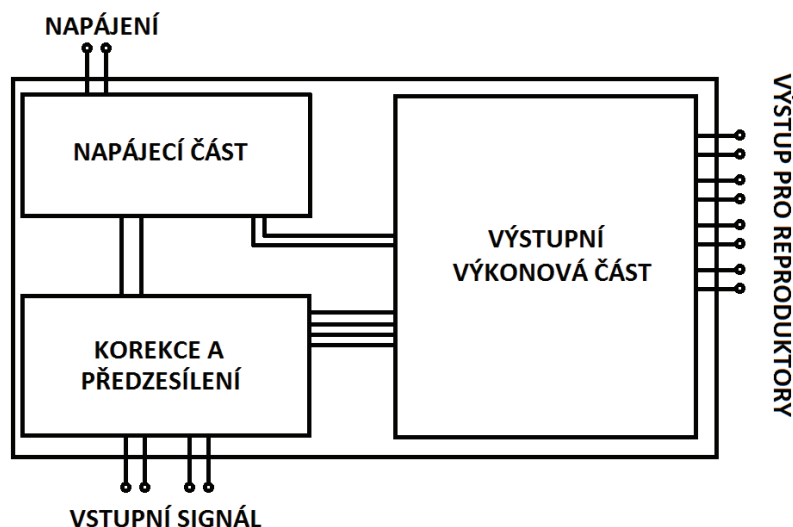
Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí autozesilovače pracujícího ve třídě D s vhodným korekčním předzesilovačem. Kromě zesilovačů pracujících ve třídě D dnes můžeme na trhu najít i zesilovače jiné třídy, které jsou používány pro zesílení audio signálu v automobilu.

Základní třída zesilovačů pracujících ve třídě A má velmi malé zkreslení vstupního audio signálu, jelikož pracuje v lineární části pracovní charakteristiky tranzistoru. Zároveň je teoretická účinnost této třídy velmi malá, tedy něco kolem 50%. Asi nejrozšířenější třída autozesilovačů je třída AB, která má o něco větší hodnotu zkreslení než-li třída A, ale zároveň se její teoretická účinnost pohybuje kolem 78%. Zesilovače ve třídě D pak dosahují velmi vysoké účinnosti, která je u nových modelů přes 90% a malého zkreslení, které se vyrovná třídě AB.

Autozesilovače se od zesilovačů, které používáme např. v domácnostech k zesílení audio signálu televize, rádia nebo jiné hudby liší v několika ohledech. Autozesilovač je napájen přímo z palubní sítě automobilu, kde se jedná o stejnosměrné napětí 11 - 14,4V z autobaterie či alternátoru vozidla. Z tohoto důvodu je pak nutný jiný systém napájení, než je tomu v domácích systémech, které většinou pracují na napájení 230V/50 Hz. Odlišný je pak i systém korekčního předzesilovače, který se stará o úpravu signálu pro každý reproduktor zvlášť, nebo pro určitou skupinu reproduktorů např. zadní reproduktory, přední reproduktory popřípadě reproduktory jinde umístěné v automobilu. Jiné jsou i korekce pro různé druhy reproduktorů jako jsou basové reproduktory, středové reproduktory či výškové reproduktory. Proto je nutné při návrhu toto všechno zohlednit a vybrat vhodné integrované obvody a součástky tak, aby výsledný produkt co nejvíce vyhovoval daným požadavkům.

1 ZÁKLADNÍ ČÁSTI ZESILOVAČE

Na obr. 1.1 je vidět základní blokové schéma 4-kanálového zesilovače, kde vstupním signálem je rozuměn signál z rádia či jiného zdroje audio signálu. Tento signál vede do korekčního předzesilovače, kde je upraven dle daných korekcí a zesílen. Po tomto zpracování signálu dojde k jeho zesílení ve výstupní výkonové části zesilovače. Poté je přiveden na výstupní svorky, odkud je signál přiveden přímo k reproduktorům, případně prochází ještě aktivní či pasivní vyhybkou, která ze signálu ořezává nepotřebné frekvence. Další částí zesilovače je napájecí část, která konvertuje vstupní napájení na napájení vhodné pro vnitřní obvodové součástky.



Obr. 1.1 Blokové schéma jednoduchého 4-kanálového zesilovače

1.1 Korekční předzesilovač

Za korekční předzesilovač můžeme považovat buď integrovaný obvod či skupinu obvodových prvků, které mění vlastnosti audio signálu dle našich požadavků.

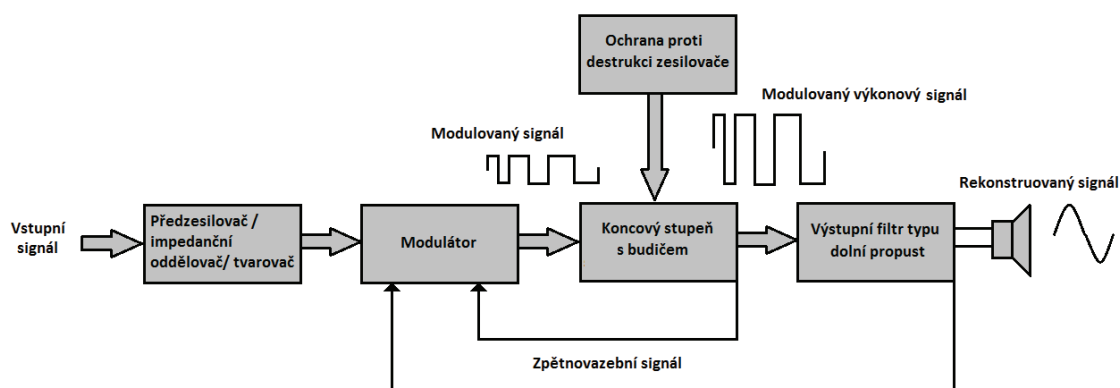
V dnešní době se nejčastěji používají korekce jako zesílení či potlačení basové složky signálu (BASS), středové složky (MID) a složky pro vyšší frekvence (TREBLE). Dále se používá korekce hlasitosti (VOLUME) nebo korekce, která upřednostní zvukový projev jednoho kanálu a druhý potlačí (BALANCE).

1.2 Výstupní výkonový zesilovač

Výkonový zesilovač ve třídě D pracuje na principu zesílení modulovaného signálu, který poté projde rekonstrukčním filtrem typu dolní propust jak je vidět na Obr 1.2.

V dnešní době je vhodné použít integrovaný obvod, kde všechny potřebné věci jsou integrovány uvnitř obvodu, jako ochrany proti přehřátí, ochrana výstupního stupně

zesilovače proti přepólování či zkratu. Těchto obvodů je dnes na trhu velké množství od každé firmy s různými parametry.



Obr. 1.2 Principiální blokové schéma výkonového audio zesilovače pracujícího ve třídě D (převzato z [1]).

1.3 Zdroj napájení

Zdroj napájení je v zesilovači ta část obvodu, která přetváří vstupní napětí na napěťové úrovni potřebné pro fungování integrovaných obvodů uvnitř zesilovače a dalších potřebných částí.

Tyto napěťové úrovni se mohou u některých integrovaných obvodů shodovat, u některých se zase liší. Proto je nutné řešit napájecí část zesilovače až jako poslední po výběru všech součástek, které budou tento zesilovač tvořit.

Jelikož se jedná o návrh autozesilovače pak je také nutno počítat s tím, že zesilovač bude napájen z palubní sítě automobilu, což představuje stejnosměrné napětí v rozmezí 11 až 14,4 V. Toto rozmezí je dáno nabitím akumulátoru a také dobíjením autobaterie pomocí alternátoru vozidla.

2 KOREKČNÍ PŘEDZESILOVAČ

2.1 Výběr vhodného obvodu

Při výběru vhodného korekčního předzesilovače je nutné se řídit několika zásadami. Nejdříve je nutné si ujasnit, co od daného obvodu požadujeme za korekce jako např. regulace basových složek signálu (BASS), středových složek (MID), složek vyšších frekvencí (TREBLE) nebo pouze regulaci hlasitosti či upřednostňování hlasitosti jednoho kanálu před druhým.

Dále je nezbytné určit, jaké zkreslení od předzesilovače požadujeme. Je nutné si uvědomit, že toto zkreslení byť malé, bude dále zesíleno výstupní zesilovačem, který obsahuje také určité zkreslení.

Již delší dobu je na trhu obvod LM1036 od firmy National Semiconductor, který obsahuje regulaci BASS, TREBLE, VOLUME, BALANCE. Výrobce udává přijatelné harmonické zkreslení 0,06 % a dle doporučeného zapojení je možno posoudit, že není nikterak složité.

Pokud ale je vzato v úvahu celkové zapojení autozesilovače ve vozidle, kde se o „vytváření“ audio signálu stará autorádio, či jiný podobný přehrávač, který již korekce BASS, MID, TREBLE, VOLUME má instalované pak by nebylo vhodné je integrovat i do tohoto zesilovače. Proto bylo rozhodnuto použít pouze předzesilovač pro úpravu hlasitosti. Tyto předzesilovače jsou nazývány digitální potenciometry.

Na trhu je těchto obvodů několik druhů, kde každý je jinak ovládán a je jinak zapojen. Pro návrh tohoto autozesilovače byl vybrán obvod od firmy MAXIM MAX5486. Tento obvod spadá do skupiny digitálních potenciometrů a obsahuje ovládání hlasitosti VOLUME a také BALANCE. Výhodou a také hlavním důvodem pro výběr této součástky je, že ovládání obvodu je prováděno pomocí tlačítek a nastavení obvodu je signalizováno pěticí LED diod, což velice ulehčuje návrh zapojení oproti jiným obvodům, které je nutno řídit pomocí datové sběrnice I2C či jiných signálů.

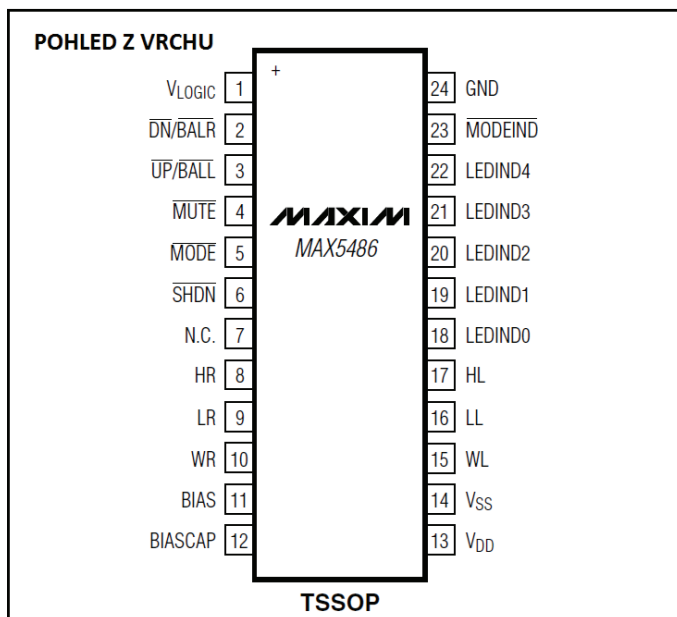
2.2 Obvod MAX5486

Základní parametry udávané výrobcem:

- Ovládání pomocí tlačítek
- Nízké zkreslení signálu 0,003% THD+N
- Napájení od 2,7V do 5,5V vůči zemi či duální $\pm 2.7V$
- Funkce MUTE, která potlačí vstupní signál o 90 dB
- Nízký proud v režimu vypnuto: 1uA
- Rozsah pracovních teplot od -40 do +85 stupňů Celsia

2.2.1 Pouzdro obvodu MAX5486

Obvod se dodává v 24-pinovém pouzdru TSSOP, které je naznačeno na obr. 2.1 V tabulce Tab. 2.1 je pak uvedena funkce a název každého pinu.



Obr. 2.1 Pouzdro obvodu MAX5486 (Převzato z [2]).

Tab. 2.1 Funkce a názvy pinů obvodu MAX5486(Převzato a přeloženo z [2]).

PIN	NÁZEV	FUNKCE
1	VLOGIC	Napájení pro digitální část obvodu.
2	DN/BALR	Snížení hlasitosti či posunu BALANCE více k pravému kanálu.
		Přepínání pomocí pinu MODE
3	UP/BALL	Zvýšení hlasitosti či posunu BALANCE více k levému kanálu.
		Přepínání pomocí pinu MODE
4	MUTE	Potlačení vstupního signálu
5	MODE	Přepínání mezi funkcí VOLUME či BALANCE
6	SHDN	Funkce vypnutí
7	N.C.	Nezapojeno
8	HR	1. pin potenciometru pravého kanálu
9	LR	2. pin potenciometru pravého kanálu
10	WR	Výstup pravého kanálu
11	BIAS	Předpětí = $(V_{DD} + V_{SS}) / 2$
12	BIASCAP	Kondenzátor potřebný pro generování předpětí
13	VDD	Zdroj pro analogovou část obvodu
14	VSS	Negativní část zdroje pro analogovou část

PIN	NÁZEV	FUNKCE
15	WL	Výstup levého kanálu
16	LL	1. pin potenciometru levého kanálu
17	HL	2. pin potenciometru levého kanálu
18-22	LEDIND0-LEDIND4	Zemnicí piny pro diody D0 až D4
23	MODEIND	Určuje pomocí LED diody pracovní režim VOLUME nebo BALANCE
24	GND	Zem

2.2.2 Ovládání obvodu MAX5486

Obvod MAX5486 je ovládán pomocí čtyř tlačítek, která jak je vidět v Tab. 2.1 jsou pojmenována DN/BALR, UP/BALL, MODE, MUTE. Nejdříve začneme tlačítkem MODE, které přepíná mezi volbou úpravy hlasitosti nebo úpravy balance. Tlačítko DN/BALR má poté dvě funkce: 1. Kdy je zvolen mód hlasitosti, stiskem tlačítka dojde ke snížení hlasitosti obou kanálů zároveň. 2. Pokud je aktivní režim balance pak dojde k upřednostnění zvuku v pravém kanálu a potlačení zvuku v levém. Tlačítko UP/BALL poté funguje, jako opak předešlého tlačítka kdy ve funkci hlasitosti přidává hlasitost a ve funkci balance dojde k upřednostnění zvuku levého kanálu před pravým. Po stisku tlačítka MUTE dojde k potlačení vstupního signálu o 90dB.

K zobrazování aktuálního stavu hlasitosti či vyvážení (balance) slouží pětice LED diod, které jsou k obvodu připojeny externě. Toto zobrazování má také dva režimy podle toho, který režim je aktivován tlačítkem MODE. V režimu volume má tento obvod 32 pozic pro snížení hlasitosti, tyto pozice jsou v Tab. 2.2. V tabulce 2.3 pak můžete vidět změnu v zobrazování LED diod v závislosti na zvolené pozici. V režimu vyvážení je aktivní pouze jedna dioda, která udává, zda je signál vyvážen či je upřednostněn jeden nebo druhý kanál.

Tab. 2.2 Pozice hlasitosti útlumu signálu (Převzato z [2]).

POZICE	ÚTLUM (dB)
0	0
1	2
2	4
3	6
4	8
⋮	⋮
30	60
31	62
32 (mute)	>90

Tab. 2.3 Nastavení LED diod v režimu hlasitosti (Převzato[2]).

POZICE HLASITOSTI	ZOBRAZENÍ HLASITOSTI NA LED (1 = LED SVÍTÍ)				
	LED0	LED1	LED2	LED3	LED4
0dB do -8dB	1	1	1	1	1
-10dB do -18dB	1	1	1	1	0
-20dB do -28dB	1	1	1	0	0
-30dB do -38dB	1	1	0	0	0
-40dB do -52dB	1	0	0	0	0
-54dB do mute (-90dB)	0	0	0	0	0

Jelikož při stisku mechanického tlačítka dochází při spojování a rozpojování kontaktů rozkmitání signál je obvod MAX5486 vybaven technologií pro potlačení tohoto jevu.

Pokud dojde k podržení tlačítka DN/BALR nebo UP/BALL v sepnutém stavu dojde k rychlejšímu pohybu mezi jednotlivými pozicemi. To je znázorněno v tabulce 2.4.

Tab. 2.4 Vyvolaná akce v závislosti na délce trvání stisku tlačítka (Převzato z [2]).

DÉLKA STISKU	VÝSLEDNÁ AKCE
$t < 16 \text{ ms}$	žádná reakce
$16 \text{ ms} < t \leq 250 \text{ ms}$	změna pozice jednou
$250 \text{ ms} < t \leq 500 \text{ ms}$	změna pozice rychlostí 4x za sec.
$500 \text{ ms} < t \leq 1000 \text{ ms}$	změna pozice rychlostí 8x za sec.
$t > 1000 \text{ ms}$	změna pozice rychlostí 11x za sec.

2.2.3 Napájení obvodu MAX5486

Napájení obvodu MAX5486 je možno řešit dle výrobce dvěma způsoby. První způsob je přivést na pin V_{DD} vstupní napětí v rozsahu od 2,7V do 5,5V a zároveň na pin V_{SS} přivést nulové napětí neboli zem. V tomto zapojení dojde k vnitřnímu generování BIAS napětí, které se objeví jako stejnosměrná složka výstupního signálu. Tuto stejnosměrnou složku je poté nutné odstranit pomocí externího kondenzátoru, který se vloží do cesty signálu. Druhá možnost je duální napájení kdy se na pin V_{DD} přivede napětí 2,7V a na pin V_{SS} pak -2,7V. Poté dle vzorce (1) bude BIAS napětí rovno nule.

$$U_{BIAS} = (V_{DD} + V_{SS})/2 \quad (1)$$

Z důvodu zjednodušení zapojení bylo vybráno napájení vůči zemi, kdy pro napájení pinu V_{DD} bylo použito 5V a pro V_{SS} 0V tedy zem. Tím se k výstupnímu signálu vygeneruje předpětí dle (1) $U_{BIAS} = 2,5V$, které se odfiltruje pomocí kondenzátoru zapojeného do cesty signálu.

2.2.4 Použití obvodu MAX5486 v zapojení zesilovače

V příloze A.1 je obvodové zapojení samostatné části předzesilovače s obvodem MAX5486, který se v zapojení 4-kanálového autozesilovače použije 2x a to z důvodu 4 kanálů.

Tyto 4 kanály jsou použity pro: Pravý přední reproduktor, levý přední, pravý zadní a levý zadní reproduktor. Díky tomuto zapojení bude možné regulovat jak hlasitost zadních a předních reproduktorů zvlášť tak i jejich vyvážení. Toto povede k dobré možnosti nastavení zvuku vzhledem k posluchači.

3 VÝSTUPNÍ VÝKONOVÝ ZESILOVAČ

3.1 Výběr vhodného obvodu

Na trhu je dnes nepřeberné množství obvodů, které zesilují signál ve třídě D, ale největší problém nastává při výběru tahového, který má výstupní výkon alespoň 50W. Většina obvodů je stavěna tak, že je nutné na výstup obvodu zařadit MOS-FET tranzistory, které budou signál dostatečně zesilovat. Další věcí je výběr obvodu buď takového, který pracuje plně ve třídě D, což znamená, že je nutné mu přivádět na vstup již digitální signál, nebo vybrat obvod, u kterého je vstupní signál analogový. Jelikož signál, který produkuje rádio v automobilu je analogový, pak byl zvolen obvod, který vyžaduje analogový signál na vstupu. Tímto obvodem je TAS5630 od firmy Texas Instrument.

Tento obvod zesiluje 4 kanály a dle výrobce dosahuje zesílení až 600W při 10% THD+N a zapojení do můstku na 1 kanál a 1Ω zátěž. Obvod disponuje malým zkreslením 0,03% při 1W do 4Ω . Účinnost je více jak 88% a obsahuje ochrany jako je: ochrana proti podpětí, přehřátí a zkratu.

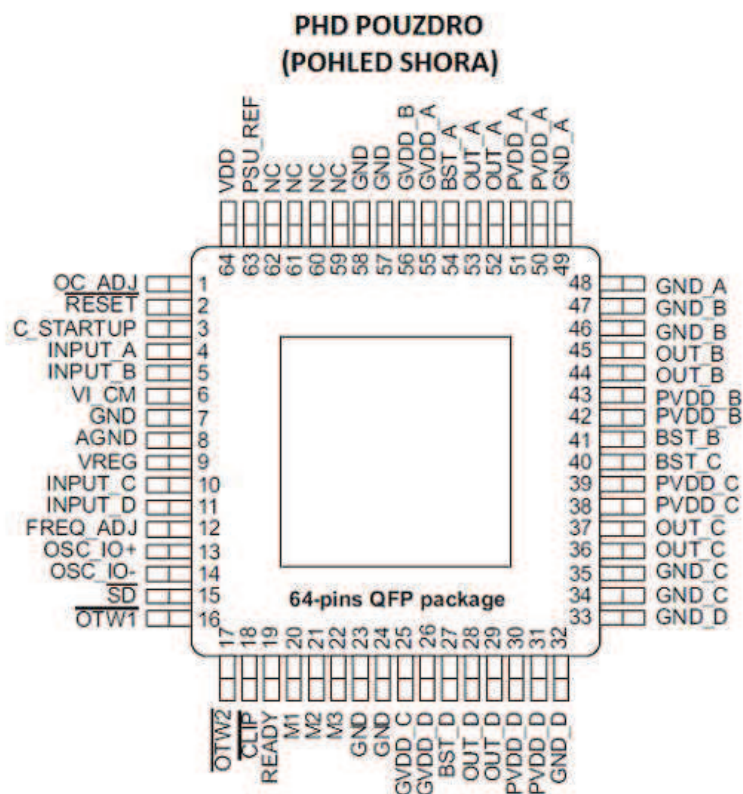
3.2 Obvod TAS5630

Základní parametry udávané výrobcem:

- Nízké zkreslení 0,03% THD na 1W při 4Ω
- Zesílení vysokých signálů až do 80kHz z HD zdrojů
- Poměr SNR (signál - šum) více jak 100dB
- Celkový výstupní výkon při 10% THD+N
 - 600W MONO – konfigurace PBTL
 - 300W na kanál při STEREO – konfigurace BTL
 - 145W na kanál při 4- kanálovém zapojení
- Vysoká účinnost výkonového stupně (více jak 88 %)

3.2.1 Pouzdro obvodu TAS5630

Obvod TAS5630 se provádí ve dvou provedeních. První je 64-pinové pouzdro s označením PHD a druhé 44-pinové DKD. Jelikož při stavbě zesilovače bude použito 64-pinové pouzdro PHD tak bude věnována pozornost pouze tomuto pouzdru. Na obrázku 3.1 je umístění a popis pinů 64-pinového pouzdra PHD. V tabulce 3.1 potom popis těchto pinů a jejich význam.



Obr. 3.1 64-pinové pouzdro PHD obvodu TAS5630 (Převzato z [3]).

Tab. 3.1 Popis pinů pouzdra PHD obvodu TAS5630 (Převzato a přeloženo z [3]).

PIN		Funkce	POPIS
Název	číslo		
AGND	8	P	Analogová zem
BST_A	54	P	Bootstrap zdroj
BST_B	41	P	Bootstrap zdroj
BST_C	40	P	Bootstrap zdroj
BST_D	27	P	Bootstrap zdroj
CLIP	18	O	Varování při odpojení
C_STARTUP	3	O	Pin pro připojení kondenzátoru pro start s náběhem
FREQ_ADJ	12	I	PWM frekvence
GND	7,23,24,57,58	P	Zem
GND_A	48,49	P	Výkonová zem pro půl můstek A
GND_B	46,47	P	Výkonová zem pro půl můstek B
GND_C	34,35	P	Výkonová zem pro půl můstek C
GND_D	32,33	P	Výkonová zem pro půl můstek D

PIN		Funkce	POPIS
Název	číslo		
GVDD_A	55	P	Napájení
GVDD_B	56	P	Napájení
GVDD_C	25	P	Napájení
GVDD_D	26	P	Napájení
INPUT_A	4	I	Vstupní signál pro půl můstek A
INPUT_B	5	I	Vstupní signál pro půl můstek B
INPUT_C	10	I	Vstupní signál pro půl můstek C
INPUT_D	11	I	Vstupní signál pro půl můstek D
M1	20	I	Výběr módu
M2	21	I	Výběr módu
M3	22	I	Výběr módu
NC	59-62	-	Nezapojeno, pin může být uzemněn
OC_ADJ	1	O	Nastavení nadproudové ochrany
OSC_IO+	13	I/O	Oscilátor master/slave output/input
OSC_IO-	14	I/O	Oscilátor master/slave output/input
OTW1	16	O	Varování přehřátí
OTW2	17	O	Varování přehřátí
OUT_A	52,53	O	Výstup půl můstku A
OUT_B	44,45	O	Výstup půl můstku B
OUT_C	36,37	O	Výstup půl můstku C
OUT_D	28,29	O	Výstup půl můstku D
PSU_REF	63	P	PSU reference
PVDD_A	50,51	P	Napěťový zdroj pro půl můstek A
PVDD_B	42,43	P	Napěťový zdroj pro půl můstek B
PVDD_C	38,39	P	Napěťový zdroj pro půl můstek C
PVDD_D	30,31	P	Napěťový zdroj pro půl můstek D
READY	19	O	Stav normální operace
RESET	2	I	Resetování obvodu
SD	15	O	Vypínací signál
VDD	64	P	Napájení pro digitální část
VI_COM	6	O	Analogový komparátor reference
VREG	9	P	Digitální regulační napájení
I = VSTUP O = VÝSTUP P = POWER			

3.2.2 Režimy obvodu TAS5630

Obvod TAS5630 má několik režimů ve kterých je schopný pracovat. Tyto režimy se od sebe liší zapojením, výstupní konfigurací reproduktorů a samozřejmě výkonem. I když je tento obvod 4-kanálový může pracovat jako 2-kanálový nebo dokonce 1-kanálový, tím že se propojí několik výstupů k sobě. Tomuto přepojení se říká zapojení do můstku a používá se pro zvýšení výstupního výkonu, který je obvod schopen dodat do reproduktoru.

Při změně pracovního režimu obvodu je nutné provést některé změny: je nutné nastavit piny M1, M2 a M3 do příslušného režimu dle tabulky 3.2, poté je nutné určit, jak bude vypadat vstupní signál. Například pro režim 2xBTL tedy spojení 4 kanálů do dvou je nutné přivést na vstupy B a D stejné signály jako na vstup A a C, ale otočené o 180°. O toto otočení se stará obvod s operačním zesilovačem OPA1632. Dále je nutné uzpůsobit zapojení výstupního filtru a připojení reproduktorů k výstupům zesilovače.

Tab. 3.2 Pracovní režimy obvodu TAS5630 a režim vstupního signálu (Převzato z [3]).

Režim pinů			Analogový vstup	Výstupní konfigurace
M3	M2	M1		
0	0	0	Rozdílový	2x BTL
0	0	1	-	-
0	1	0	Rozdílový	2x BTL
0	1	1	Rozdílový, jednoduchý	1x BTL + 2x SE
1	0	0	Jednoduchý	4x SE
1	0	1	Rozdílový	1x PBTL
1	1	0	Rezervováno	
1	1	1		

V katalogovém listu k obvodu TAS5630 [3] lze nalézt tabulky výstupních výkonů pro různá zapojení zesilovače. Z těchto tabulek je patrné, že pro zapojení kde je zesilovač využíván jako 4-kanálový, je obvod schopen při maximálním napájení dodat na každý výstup 55W při zátěži 4 Ω a 1% THD+N. Tato hodnota by zadání 4x 50W vyhovovala, ale problém by patrně nastal při chlazení obvodu, jelikož by pracoval stále naplno. Další věcí, která je nutná vzít v úvahu je pak harmonické zkreslení, které by při plném vytížení zesilovače bylo mnohem větší než při nižším vytížení. Kvůli těmto důvodům bylo rozhodnuto použít v zapojení obvod TAS5630 2x a to tak, že se každý obvod zapojí do režimu BTL, tedy do režimu kde se každé dva kanály zapojí do můstku a ze čtyř kanálů vzniknou dva s větším výkonem.

Tímto zapojení dojde k nárůstu výkonu, který však není potřebný pro zadaný projekt. Snížením napájení tedy snížíme výkon zesilovače na potřebnou úroveň, tedy 60-90W pokud počítáme s rezervou. V tomto bodě tedy máme dostatečný výkon pro dva kanály, zesilovač nepracuje stále naplno, čímž dojde k jeho ochlazení oproti původní variantě a dojde ke snížení celkového harmonického zkreslení.

Nevýhodou pak je nutnost vytvořit toto zapojení 2x, čímž dojde k prodražení, ale za cenu kvalitnějších parametrů.

3.3 Obvody potřebné pro činnost TAS5630

Jak už bylo řečeno při výběru pracovního režimu obvodu TAS5630, je pro jeho činnost v zapojení 2xBTL potřebná úprava vstupního signálu. Tento obvod má 4 vstupní signály, pro každý výstup jeden, ale jelikož bude pracovat v můstkovém zapojení je nutné vstupní signály B a D otočit o 180° . Pro tento případ výrobce doporučuje použití obvodu OPA1632, jde o plně diferenční operační zesilovač vhodný pro zpracování audio signálu.

Další obvody jsou spíše pro monitorování a ochranu obvodu. Mezi tyto obvody se řadí ovládání zapnutí/vypnutí a zobrazení tohoto stavu, napájení digitální a logické části zesilovače, ovládání ventilátoru při přehřátí a napájecí zdroj pro výstupní část zesilovače, který bude probrán samostatně v kapitole 4.

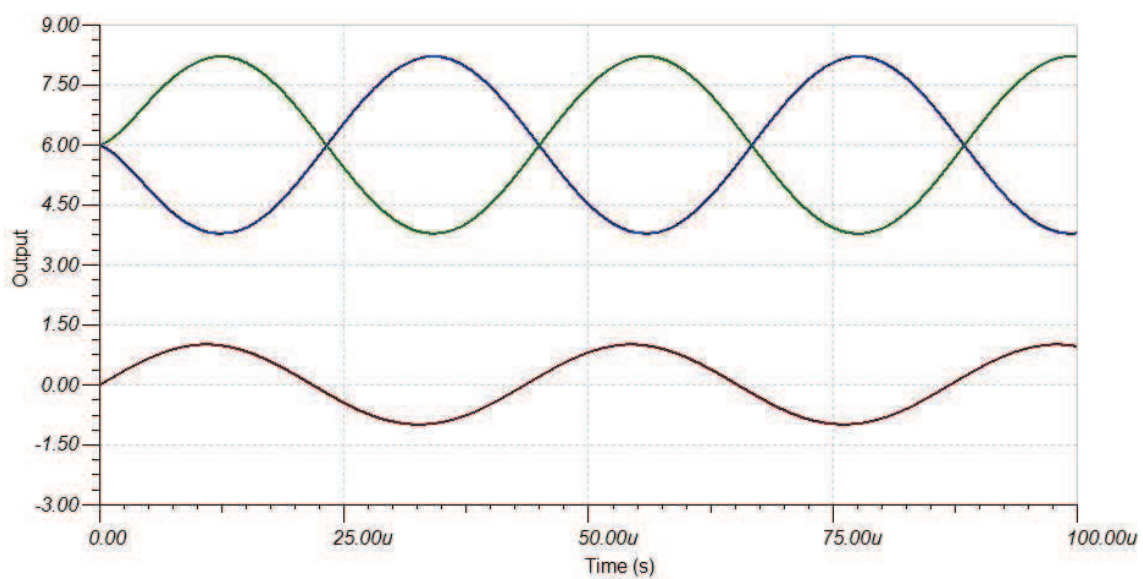
3.3.1 Obvod OPA1632

Základní parametry udávané výrobcem:

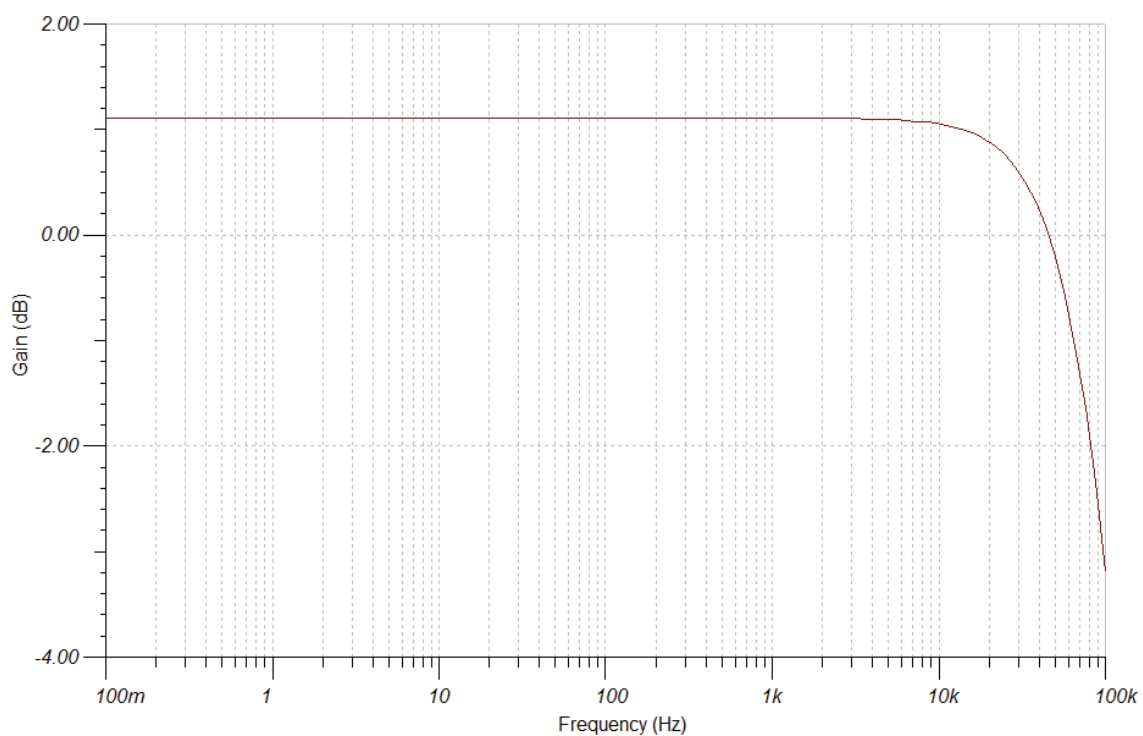
- Vynikající zvuková kvalita
- Velmi nízké zkreslení: 0,000022%
- Nízký šum: $1,3\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Vysoká rychlost:
 - Sledovací rychlost: $50\text{V}/\mu\text{s}$
 - Šířka pásma: 180MHz
- Plně diferenční architektura
- Velký rozsah vstupního napájení: $\pm 2,5\text{V}$ do $\pm 16\text{V}$

V příloze [A.2] lze vidět zapojení obvodu OPA1632 [4] doporučené výrobcem k zapojení s TAS5630[5]. Tato část obvodu má za úkol převést přiváděný signál na dva signály, kdy jeden je otočený o 180° oproti původním. Další funkcí tohoto zapojení je pasivní filtr 1. řádu typu horní propust s mezní frekvencí 1,6Hz, který odstraní všechny nepotřebné nižší frekvence a také odstraní případnou stejnosměrnou složku signálu. Dále zapojení obsahuje aktivní dolní propust 2. řádu s mezní frekvencí na 80kHz.

V tomto zapojení dojde k přidání stejnosměrné složky k signálu kvůli zjednodušení napájení OPA1632. Díky této úpravě signálu není potřeba napájet operační zesilovač duálně, ale stačí napájení 12V vůči zemi. Na obrázku 3.2 lze vidět simulaci úpravy signálu v časové oblasti obvodem OPA1632. Na obrázku 3.3 je pak vidět simulace aktivní dolní propusti v zapojení s tímto obvodem.



Obr. 3.2 Simulace úpravy signálu s obvodem OPA1632 provedená v programu Tina-TI



Obr. 3.3 Simulace aktivní dolní s propusti obvodem OPA1632 provedená v programu Tina-TI

3.3.2 Ostatní doplňková zapojení obvodu TAS5630

Obvod pro ovládání zapnutí nebo vypnutí je jednoduché zapojení, které pomocí unipolárního tranzistoru spíná signál RESET, který je vstupním signálem obvodu TAS5630 a udává, zda je obvod zapnut nebo vypnut. Toto zapojení se nachází v příloze [A.3].

Dalším doplňkovým obvodem zobrazeným v příloze [A.4] je zapojení jehož funkcí je zobrazení stavu obvodu. Vstupními signály jsou zde signál SD – vypnuto a READY – připraveno. Tyto stavy jsou zobrazeny pomocí dvojice LED diod spínaných pomocí tranzistorů.

Obvod v příloze [A.5] slouží k sepnutí ventilátor pomocí signálu OTW1, který generuje obvod TAS5630 při překročení teploty 100°C. Obvod TAS5630 generuje také druhý signál OTW2, u kterého dojde k sepnutí při překročení teploty 125°C.

Posledním zapojením [A.6] je 12V lineární regulátor s obvodem LM317, který se stará o napájení digitální a logické části obvodu TAS5630 a přilehlých obvodů či obvodových zapojení.

4 ZDROJ NAPÁJENÍ

4.1 Výběr vhodného obvodu

Jelikož u obvodu TAS5630 je nutné napájet výstupní část obvodu napětím v rozsahu 20-50V, ale vstupní napětí z autobaterie je pouze 14,4V, bylo rozhodnuto o použití zvyšujícího DC-DC měniče. Při daných výkonech zesilovače je patrné, že proud tekoucí do výkonové části zesilovače nebude malý, proto je vhodné použít zvyšující DC-DC měnič s externími spínacími tranzistory. Těchto druhů obvodů je na trhu nemalé množství.

Pro účely použití v zesilovači byl vybrán obvod LTC3862 [5] od firmy Linear Technology. Tento obvod obsahuje dva řídicí výstupy pro externí MOSFET tranzistory a je schopen pracovat až 12-ti fázově, tedy použít 6 obvodů, které se spojí v jeden zdroj. Díky tomuto spojení je možné rozdělit celkovou energii zdroje na několik komponent a tím výrazně snížit zahřívání součástek.

4.2 Obvod LTC3862

Základní parametry udávané výrobcem:

- Velký rozsah vstupního napětí : 4V až 36V
- Fixní pracovní frekvence
- 5V řízení logiky MOSFETů
- Maximální pracovní cyklus až 96%
- Programování pracovní frekvence pomocí externího rezistoru

4.2.1 Návrh zvyšujícího DC-DC měniče pomocí obvodu LTC3862

Jak je patrné z katalogového listu obvodu TAS5630 [3] pro výstupní výkon 2 x 100W (jedná se o maximální výkon, který je schopen obvod dodat jen po velmi krátkou dobu) je potřebné napájecí napětí 30V. Zdroj je navržen vždy pouze pro jeden kanál zesilovače a dle návrhu by měl být schopen dodat proud 5A. Tímto rozdělením, kdy každý kanál zesilovače má svůj vlastní zdroj, docílíme lepší kvality reprodukce, jelikož každá část zesilovače bude mít dostatek vlastní energie při špičkovém výkonu.

Zadané parametry:

- | | |
|--------------------------------|-------------------|
| • Vstupní napětí (MAX) : 14,4V | ($V_{IN(MAX)}$) |
| • Vstupní napětí (MIN) : 11V | ($V_{IN(MIN)}$) |
| • Výstupní napětí : 30V | (V_0) |
| • Výstupní Proud : 5A | ($I_{0(MAX)}$) |

Pracovní cyklus (viz. [5]):

$$D_{MAX} = \left(\frac{V_0 + 0.5 - V_{IN(MIN)}}{V_0 + 0.5} \right) = \left(\frac{30 + 0.5 - 11}{30 + 0.5} \right) = 63.9 \% \quad (2)$$

$$D_{MIN} = \left(\frac{V_0 + 0.5 - V_{IN(MAX)}}{V_0 + 0.5} \right) = \left(\frac{30 + 0.5 - 14.4}{30 + 0.5} \right) = 52.8\% \quad (3)$$

Pracovní frekvence (viz. [5]):

Byla zvolena $f_{OSC} = 300\text{kHz}$

$$R_{REQ} = 5.5096 * 10^9 * (f_{OSC})^{-0.9255} \quad (4)$$

Minimální doba sepnutí (viz. [5]):

$$t_{on(MIN)} = \frac{1}{f} * \left(\frac{V_0 + 0.5 - V_{IN(MAX)}}{V_0 + 0.5} \right) = \frac{1}{300\text{kHz}} * \left(\frac{30 + 0.5 - 14.4}{30 + 0.5} \right) = 1.76\mu\text{s} \quad (5)$$

Maximální vstupní proud (viz. [5]):

$$I_{IN(MAX)} = \frac{I_0(MAX)}{1 - D_{MAX}} = \frac{5A}{1 - 0.639} = 13.85A \quad (6)$$

Výpočet cívky (viz. [5]):

$$\Delta I_L = \frac{x}{n} * \frac{I_0(MAX)}{1 - D_{MAX}} = \frac{0.4}{2} * \frac{5A}{1 - 0.639} = 2.77A \quad (7)$$

Kde: n..... udává počet fází
 x..... udává část energie na cívce

$$L = \frac{V_{IN(MIN)}}{\Delta I_L * f} * D_{MAX} = \frac{11}{2.77 * 300\text{kHz}} * 0.6369 = 8.45\mu\text{H} \quad (8)$$

Spínací proud (viz. [5]):

$$I_{SW(MAX)} = \frac{1}{n} * \left(1 + \frac{x}{2} \right) * \frac{1.3 * I_0(MAX)}{1 - D_{MAX}} = \frac{1}{2} * \left(1 + \frac{0.4}{2} \right) * \frac{1.3 * 5}{1 - 0.639} = 10.8A \quad (9)$$

Výpočet odporu R_{SENSE} (viz. [5]):

$$R_{SENSE} = \frac{V_{SENSE(MAX)}}{I_{SW(MAX)}} = \frac{73\text{mV}}{10.8A} = 6.76\text{m}\Omega \quad (10)$$

Výpočet špičkového proudu diodou (viz. [5]):

$$I_{D(PEAK)} = \frac{1}{n} * \left(1 + \frac{x}{2} \right) * \frac{I_0(MAX)}{1 - D_{MAX}} = \frac{1}{2} * \left(1 + \frac{0.4}{2} \right) * \frac{5A}{1 - 0.639} = 8.31A \quad (11)$$

Výpočet výstupního kondenzátoru (viz. [5]):

$$C_{OUT} \geq \frac{I_{0(MAX)}}{0.01 * n * V_0 * f} = \frac{5}{0.01 * 2 * 30 * 300kHz} = 28\mu F \quad (12)$$

Výpočet děliče pro kontrolu výstupního napětí (viz. [5]):

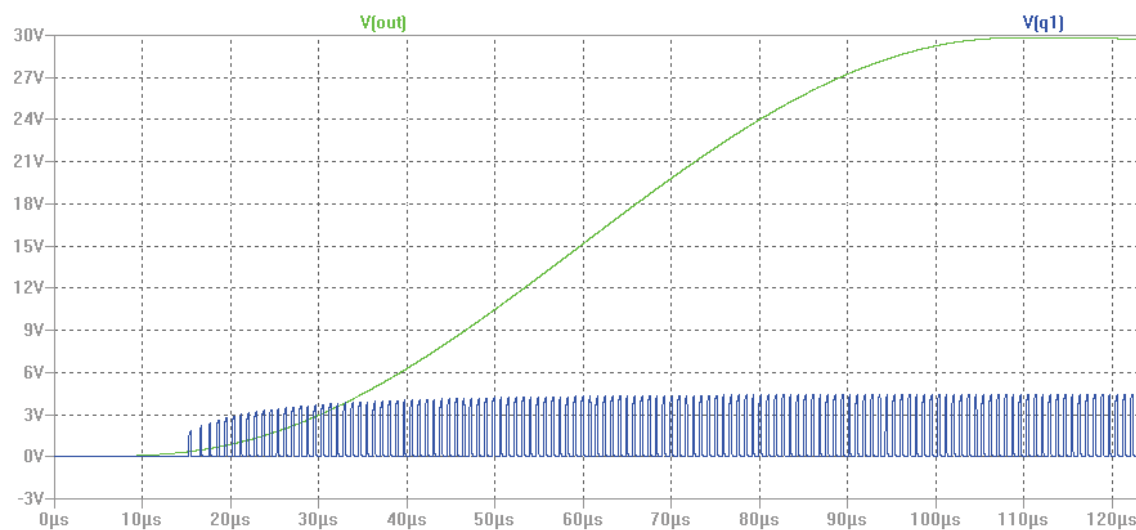
R1 zvolen $5k\Omega$ poté dle :

$$V_0 = 1.223V * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (13)$$

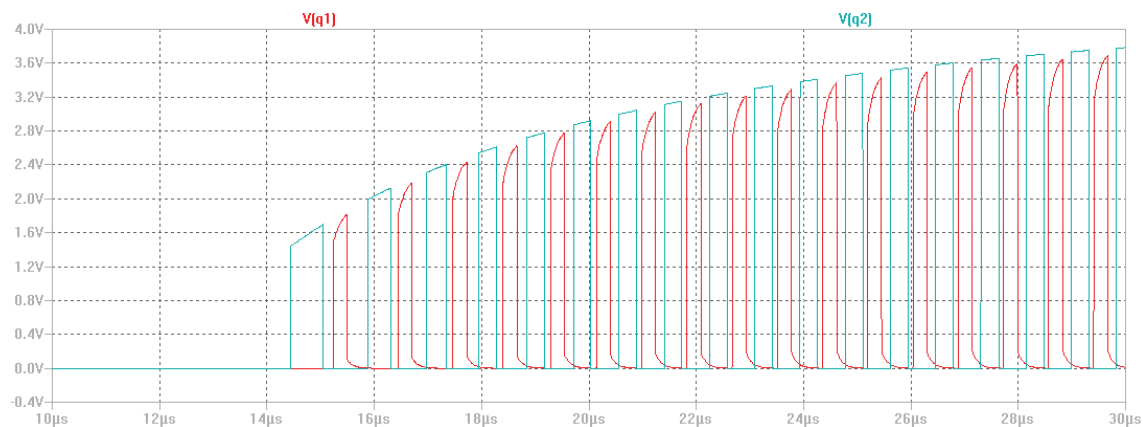
$$R_2 = 117,65k\Omega$$

4.3 Zapojení obvodu LTC3862

V příloze A.7 lze vidět zapojení zvyšujícího DC-DC měniče dle vypočtených parametrů. Na obrázku 4.1 je provedena simulace tohoto obvodu v simulačním programu LTspice IV od firmy Linear Technology. Na tomto grafu lze vidět náběh výstupního napětí v závislosti na čase a také impulzy pro spínání tranzistoru 1. Na obrázku 4.2 je potom vidět dvou-fázová práce obvodu, kdy dochází ke střídání spínání tranzistorů.



Obr. 4.1 Simulace obvodového zapojení s LTC3862 v programu LTspice IV.



Obr. 4.2 Spínací signály pro externí tranzistory obvodu LTC3862 (simulace v LTspice IV).

5 NÁVRH DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

Všechny zde uvedené desky plošných spojů byly vytvořeny v programu EAGLE 5.0.0. V příloze B jsou uvedeny všechny desky plošných spojů. V příloze C jsou uvedeny osazovací plány a v příloze D poté seznamy součástek použité při osazování desek plošných spojů.

5.1 Deska plošného spoje s obvodem MAX5486

Deska digitálního potenciometru s obvodem MAX5486 byla provedena jako oboustranná s prokovením a rozměry: 57 x 80 mm. Součástky jsou umístěny pouze na jednu stranu DPS a ve většině případů je použita velikost odporů a kondenzátorů 0805.

Místo všech ovládacích prvků byly na DPS umístěny konektory, díky kterým bude možno vytvoření ovládacího panelu a jeho umístění na obalu zařízení. Tento ovládací panel bude poté nutno pomocí propojovacích vodičů připojit ke konektorům na DPS s obvodem MAX5486.

Na DPS se nacházejí dva stabilizátory L78M05 v provedení DPAK pro stabilizaci napájení potřebnou pro dva obvody MAX5486. Obvod označený IC1 musí být neustále připojený k napájecímu napětí z důvodu zapamatování pozice digitálního potenciometru (tedy jeho nastavenému útlumu).

Oboustranná deska plošného spoje pro obvod MAX5486 je uvedena v příloze B1. V příloze C1 je pak uveden osazovací plán a v příloze D1 seznam součástek potřebných pro sestavení obvodu.

Při osazování nejdříve zapájíme nejmenší prvky SMD tedy odpory 0805 a kondenzátory 0805. Poté zapájíme elektrolytické kondenzátory, stabilizátory a konektory. Integrované obvody MAX5486 pájíme až jako poslední, aby z důvodu přehřátí nedošlo k poškození vnitřní struktury obvodu.

5.2 Deska plošného spoje s obvodem OPA1632

Deska pro nutnou úpravu signálu pro TAS5630 s obvodem OPA1632 byla navržena jako oboustranná s prokovením a rozměry 78,5 x 71 mm.

Součástky jsou umístěny na jedné straně, krom dvou keramických kondenzátorů velikosti 0805 a hodnotě 100nF. Tyto kondenzátory slouží k filtraci napájecího napětí, a proto jsou uloženy na straně bottom desky plošného spoje, co nejbližší napájecím kontaktům.

Oboustranná deska plošného spoje s obvodem OPA1632 je uvedena v příloze B2. V příloze C2 je pak uveden osazovací plán a v příloze D2 seznam součástek potřebných pro sestavení obvodu.

5.3 Deska plošného spoje s obvodem TAS5630

Deska výstupní části zesilovače realizovaná pomocí obvodu TAS5630 byla navržena jako oboustranná s prokovením o rozměrech 172 x 235 mm.

Většina součástek byla navržena na stranu TOP, krom 4 keramických kondenzátorů velikosti 0805 a kapacitě 33nF, které byly navrženy na stranu BOTTOM z důvodu nutnosti co nejbližšího kontaktu s konektory obvodu TAS5630.

Oboustranná deska plošného spoje pro osazení obvodem TAS5630 je uvedena v příloze B3. Osazovací plán pro tuto desku se nachází v příloze C3, seznam součástek potřebných pro osazení této desky pak v příloze D3.

Při sestavování a osazování desky plošného spoje pro obvod TAS5630 bude nejprve nutno navinout cívky L1 – L4 (7uH / 5A). Pro tyto účely budeme potřebovat jádro s malým THD+N, při výrobě této práce byl použit železoprachový toroid průměru 23,9 / 14,2 mm a šíře 7,9mm označovaný jako T 94-2. Na tento toroid je poté navinut lakovaný měděný drát o průměru 1mm a 33 závitů.

Při pájení postupujeme jako u předchozích zapojení. Nejdříve zapájíme nejmenší součástky, tedy odpory 0805 a kondenzátory 0805, a poté cívky, elektrolytické kondenzátory, stabilizátory, konektory a až jako poslední zapájíme integrovaný obvod TAS5630. Při pájení diod LED 0805 je dobré si dát pozor na polaritu diody, která není dobře viditelná u takto malé součástky.

6 OŽIVENÍ ZAPOJENÍ

Po osazení desek plošných spojů součástkami, nejdříve ověříme správnost zapojení a umístění všech důležitých prvků na DPS. Dále zkontrolujeme, zda nedošlo při pájení součástek někde ke zkratu, zvláště pak u výkonové části, kde by při zkratu mohlo dojít ke zničení součástek. Na obvod koncového zesilovače TAS5630 bude nutné umístit dostatečný chladič.

Desky plošných spojů s obvody MAX5486 a OPA1632 po kontrole správnosti zapojení nemusíme ožивovat.

6.1 Oživení zapojení s obvody MAX5486 a OPA1632

Jelikož se nejedná o zapojení s výkonnou částí pak není nutné zapojení ožивovat, proto po kontrole zapojení bylo připojeno napájení na jednotlivá zapojení, byl změřen jejich proudový odběr a poté charakteristiky a hodnoty potřebné pro porovnání s hodnotami od výrobce viz. kapitola 7.

Odběr obvodu s OPA1632 [mA]		
Data výrobce		Změřeno
OPA1632	L78M12	
17,1	7	27,9

U obvodového zapojení s obvodem MAX5486 nelze celkový odběr zapojení porovnávat s hodnotami udávanými výrobcem, jelikož se v celkovém obvodu nachází 12 LED diod, jejichž sepnutí má velký vliv na hodnotu celkového odběru vůči obvodu MAX5486, kde výrobce udává odběr 1,4 mA pro analogovou část obvodu a 200 uA pro digitální část obvodu.

6.2 Oživení zapojení koncového stupně s obvodem TAS5630

K výstupním svorkám zapojení připojíme 4Ω reproduktor a napájecí napětí pro digitální část zapojení (14V). Poté stiskneme tlačítko RESET a připojíme napájení výstupní části zapojení (25V). Obvod TAS5630 obsahuje ochranu před několika způsoby zničení, proto pokud by došlo k nějaké chybě, dojde k rozsvícení určité diody a obvod se sám resetuje. Pokud nedošlo k žádné závadě, zelená dioda indikující stav READY by se měla rozsvítit.

Na vstupní svorky připojíme signál z generátoru o co nejmenší amplitudě. Vstupní signál je nutno připojit přes zapojení s obvodem OPA1632. Poté co budeme pomalu zvětšovat amplitudu vstupního signálu, měl by se z reproduktoru začít ozývat zvuk.

7 MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK ZAPOJENÍ

7.1 Měření charakteristik obvodu MAX5486

7.1.1 Závislost útlumu na pozici ukazatele Volume

Nejdříve bylo změřeno zesílení daného zapojení a to při $U_{IN} = 1V$ a $f = 1kHz$, které je $A_u = 2,02$. Proto se v tabulce Tab.7.1 bere útlum vůči tomuto zesílení, aby byly možné porovnávat hodnoty, které udává výrobce.

Tab 7.1 Závislost útlumu na pozici ukazatele Volume

Pozice Volume	$U_2[V]$	Útlum[dB] - Změřeno	Útlum[dB] - Výrobce
0	2,020	0,00	0
1	1,600	-2,02	-2
2	1,280	-3,96	-4
3	1,060	-5,60	-6
4	0,840	-7,62	-8
5	0,650	-9,85	-10
6	0,520	-11,79	-12

pozice	$U_2[V]$	Útlum[dB] - Změřeno	Útlum[dB] - Výrobce
7	0,430	-13,44	-14
8	0,360	-14,98	-16
9	0,270	-17,48	-18
10	0,220	-19,26	-20
11	0,180	-21,00	-22
12	0,140	-23,18	-24
13	0,110	-25,28	-26
14	0,085	-27,52	-28
15	0,064	-29,98	-30
16	0,050	-32,13	-32
17	0,038	-34,51	-34
18	0,032	-36,00	-36
19	0,024	-38,50	-38
20	0,020	-40,09	-40
21	0,016	-42,02	-42
22	0,013	-44,03	-44
23	0,010	-46,02	-46
24	0,008	-48,05	-48
25	0,006	-50,54	-50
26	0,005	-52,13	-52
27	0,004	-54,07	-54
28	0,003	-56,56	-56
29	0,002	-60,09	-58
30	0,002	-60,09	-60
31	0,001	-66,11	-62
32	-		-90

Příklad výpočtu:

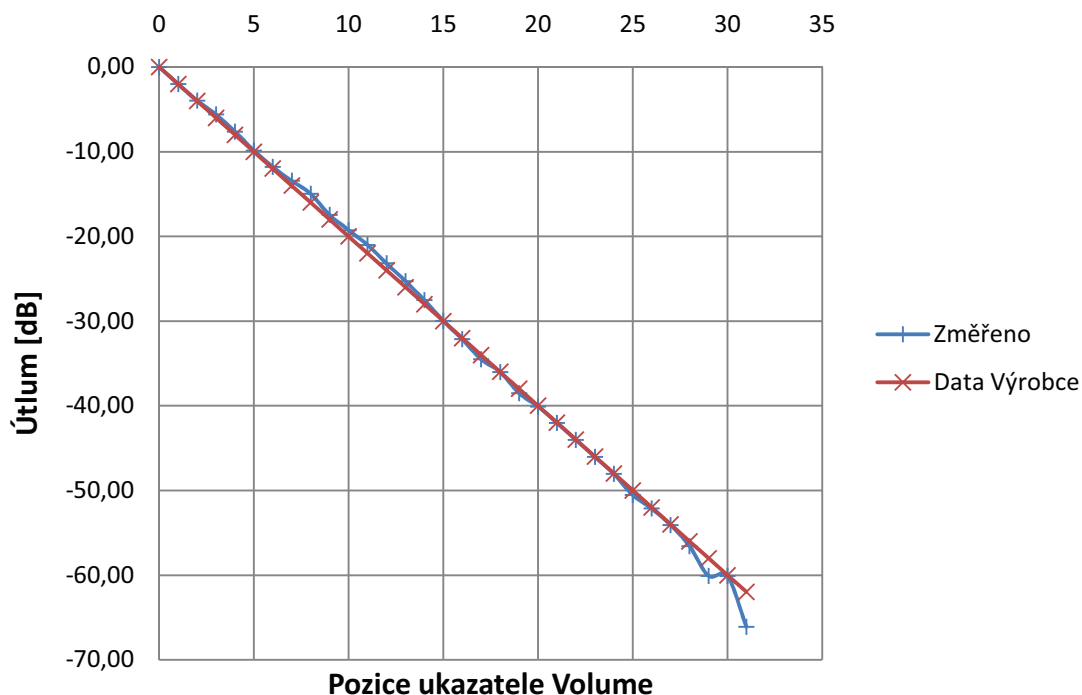
$$Au[dB] = 20 * \log\left(\frac{U_2}{U_{IN}}\right) = 20 * \log\left(\frac{1,6}{1}\right) = -2,02 \text{ dB} \quad (14)$$

Jak je z tabulky patrné počet kroků (pozic ukazatele Volume) udávaný výrobcem souhlasí se změřeným počtem 32 kroků.

Výrobce dále udává, že rozdíl jednotlivých kroků je od sebe 2 dB, na obrázku 7.1 je pak vidět rozdíl mezi hodnotami naměřenými a hodnotami, které udává výrobce. Na této charakteristice je patrné, že útlum mezi jednotlivými kroky není vždy přesně 2dB. Toto může být způsobeno chybou měření zvláště ke konci dané charakteristiky, kde již nebylo možno přesně odečítat hodnoty výstupního napětí.

Na pozici 32, kde výrobce udává útlum 90 dB, nebylo možno změřit přesný útlum.

Závislost útlumu na pozici ukazatele Volume obvodu MAX5486



Obr. 7.1 Graf závislosti útlumu na pozici ukazatele Volume obvodu MAX5486

7.1.2 Měření charakteristiky BALANCE

Obvod MAX5486 obsahuje jako digitální potenciometr regulaci Balance. Charakteristika je měřena tak, že na oba vstupní kanály je přiveden stejný vstupní signál $U_{IN} = 1V$ $f = 1kHz$ a pozice Volume je nastavena na 0 tedy na útlum 0dB. Poté budeme přidávat Balance směrem doleva.

Tab 7.2 Závislost útlumu na pozici ukazatele Balance

pozice	U _{2L} [V]	U _{2P} [V]	Au[dB]
0	2,018	2,020	0,00
1	2,017	1,590	-2,08
2	2,017	1,270	-4,03
3	2,017	1,070	-5,52
4	2,017	0,850	-7,52
5	2,017	0,649	-9,86
6	2,017	0,518	-11,82
7	2,017	0,490	-12,30
8	2,017	0,361	-14,96
9	2,017	0,272	-17,42
10	2,017	0,218	-19,34
11	2,017	0,180	-21,00
12	2,018	0,140	-23,18
13	2,018	0,110	-25,28
14	2,018	0,084	-27,62
15	2,018	0,063	-30,12
16	2,018	0,051	-31,96
17	2,018	0,037	-34,74
18	2,018	0,032	-36,00
19	2,018	0,023	-38,87
20	2,018	0,021	-39,66
21	2,018	0,016	-42,02
22	2,018	0,013	-44,03
23	2,018	0,010	-46,02
24	2,018	0,008	-48,05
25	2,018	0,006	-50,54
26	2,018	0,005	-52,13
27	2,018	0,004	-54,07
28	2,018	0,003	-56,56
29	2,018	0,002	-60,09
30	2,018	0,002	-60,09
31	2,018	0,001	-66,11

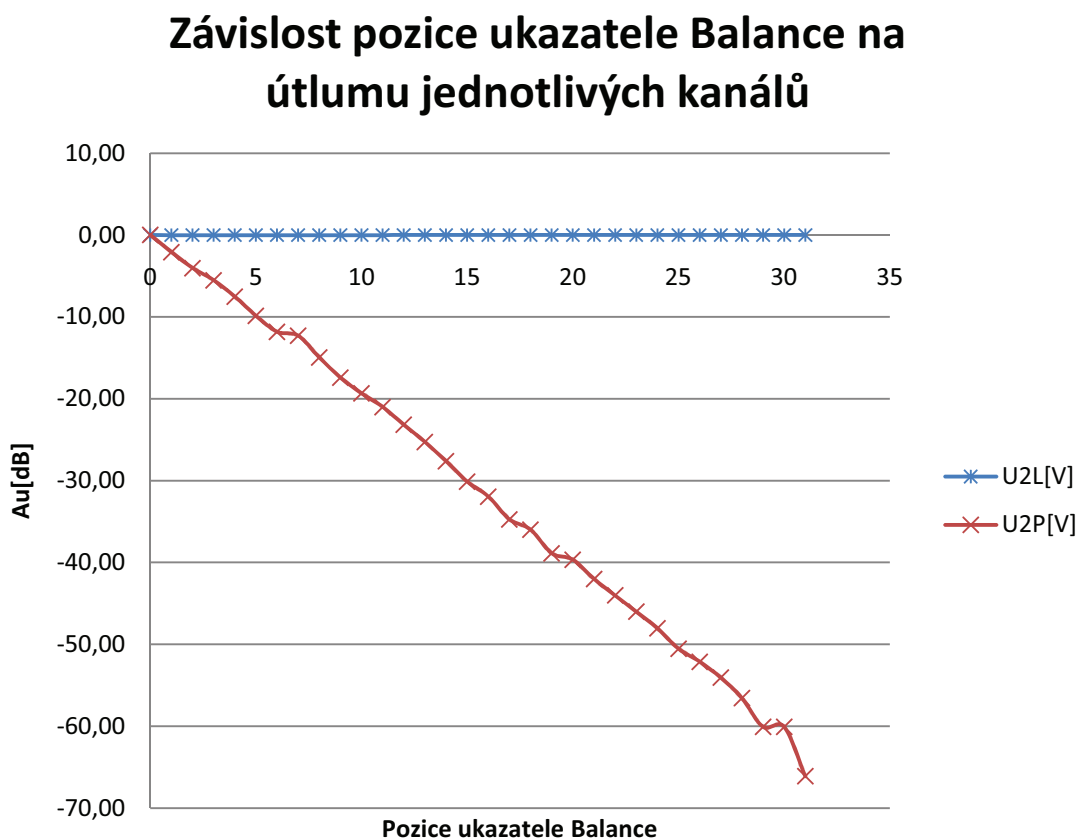
Příklad výpočtu:

$$Au[dB] = 20 * \log\left(\frac{U_{2P}}{U_{IN}}\right) = 20 * \log\left(\frac{1,59}{1}\right) = -2,08 \text{ dB} \quad (15)$$

Jak je vidět v tabulce 7.2 je Balance řešen jako utlumování jednoho z kanálů vůči původní hodnotě.

Jedná se zde opět o 32 kroků, kde každý krok znamená útlum o 2 dB vůči původní hodnotě výstupního signálu. Krok 32 je pak označován jako MUTE tedy útlum 90 dB.

Na obr 7.2 pak lze vidět, že při posouvání Balance směrem doleva dochází k útlumu pouze pravého kanálu a levý kanál je ponechán na původní úrovni.



Obr. 7.2 Graf závislosti útlumu na pozici ukazatele Balance obvodu MAX5486

7.1.3 Měření přeslechu mezi kanály

Měření přeslechu se provádí tak, že se přivede signál z generátoru $f = 1 \text{ kHz}$ a $U_{\text{IN}} = 0,775 \text{ V}$ na jeden vybraný vstup a poté měříme výstupní napětí na druhém výstupním kanálu. Toto měření je prováděno bez zásahu korekcí, tedy pozice ukazatele Volume na pozici 0 a pozice ukazatele Balance vyrovnána.

Tab 7.3 Přeslechy digitálního potenciometru MAX5486 ($U_{IN} = 775\text{mV}$, $f = 1\text{ kHz}$)

f[Hz]	Levý kanál U1 -> Pravý kanál		Pravý kanál U1 -> Levý kanál	
	U_{2P} [uV]	Přeslech [dB]	U_{2L} [uV]	Přeslech [dB]
100	98	-77,96	105	-77,36
1k	115	-76,57	121	-76,13
10k	290	-68,54	288	-68,59

Příklad výpočtu :

$$Au[dB] = 20 * \log\left(\frac{U_{2P}}{U_{IN}}\right) = 20 * \log\left(\frac{98}{775000}\right) = -77,96\text{ dB} \quad (16)$$

7.1.4 Měření harmonického zkreslení

Měření bylo prováděno při vstupním signálu $U_{IN} = 1\text{ V}$, $f = 1\text{ kHz}$. Na výstup obvodu byl připojen nízkofrekvenční milivoltmetr.

Tab 7.4 Harmonické zkreslení obvodového zapojení MAX5486

Kanál	THD+N [%]
Pravý	0,083
Levý	0,072

7.1.5 Měření vstupního odporu

Při měření vstupního odporu se mezi přívod od generátoru vloží cejchovaný odpor, který se nastaví na hodnotu 0Ω . Generátorem nastavíme výstupní napětí na hodnotu $U_{OUT} = 300\text{mV}$, poté zvyšujeme cejchovaný odpor do doby, kdy výstupní napětí klesne na polovinu tedy $U_{OUT} = 150\text{mV}$. Vstupní odpor pak přímo odečteme na cejchovaném odporu.

Vstupní odpor $R_{VST L} = 41\text{k}\Omega$

Vstupní odpor $R_{VST P} = 41\text{k}\Omega$

7.2 Měření charakteristik obvodu OPA1632

7.2.1 Měření Modulové kmitočtové charakteristiky

Obvodové zapojení s integrovaným obvodem OPA1632 slouží pro úpravu signálu pro obvod TAS5630.

Zároveň je však obvod zapojen jako pásmová propust s $f_{m1} = 1,6\text{Hz}$ a $f_{m2} = 80\text{kHz}$. Horní propust s mezní frekvencí 1,6 Hz je realizována jako pasivní filtr 1. řádu. Dolní propust s mezní frekvencí 80 kHz je poté realizována jako aktivní filtr 2. řádu.

Při prvním spuštění mělo celé toto zapojení odběr 27,9mA, což přibližně odpovídá předpokladům založených na údajích výrobců součástek použitých na zapojení.

Tab 7.5 Modulová kmitočtová charakteristika obvodu s OPA1632

f [Hz]	Vin [V]	Vout [V]	Au[-]	Au[dB]
0,7	1	0,04	0,04	-27,96
1	1	0,08	0,08	-21,94
3	1	0,6	0,6	-4,44
5	1	1,21	1,21	1,66
6	1	1,45	1,45	3,23
8	1	1,7	1,7	4,61
10	1	1,84	1,84	5,30
15	1	2,02	2,02	6,11
20	1	2,12	2,12	6,53
30	1	2,22	2,22	6,93
50	1	2,28	2,28	7,16
100	1	2,32	2,32	7,31
1000	1	2,32	2,32	7,31
5000	1	2,32	2,32	7,31
10000	1	2,32	2,32	7,31
15000	1	2,3	2,3	7,23
18000	1	2,28	2,28	7,16
20000	1	2,26	2,26	7,08
25000	1	2,22	2,22	6,93
30000	1	2,2	2,2	6,85
40000	1	2,1	2,1	6,44
50000	1	2	2	6,02
60000	1	1,88	1,88	5,48

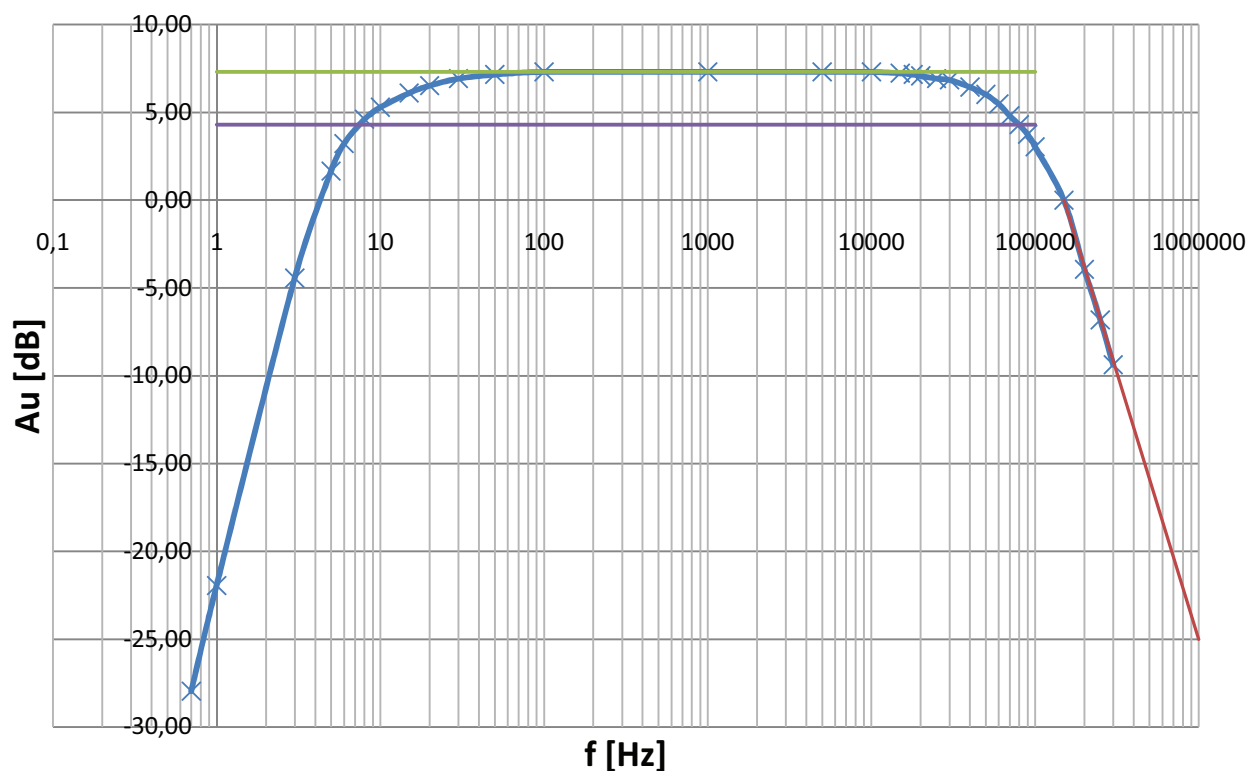
f [Hz]	V _{in} [V]	V _{out} [V]	A _u [-]	A _u [dB]
70000	1	1,74	1,74	4,81
80000	1	1,64	1,64	4,30
90000	1	1,54	1,54	3,75
100000	1	1,42	1,42	3,05
150000	1	1	1	0,00
200000	1	0,636	0,636	-3,93
250000	1	0,456	0,456	-6,82
300000	1	0,34	0,34	-9,37

Příklad výpočtu:

$$A_u = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{0,04}{1} = 0,04 \quad (17)$$

$$A_u[dB] = 20 * \log\left(\frac{V_{OUT}}{V_{IN}}\right) = 20 * \log\left(\frac{0,04}{1}\right) = -27,96 \text{ dB} \quad (18)$$

Modulovaná kmitočtová charakteristika $A_u = f(U_2/U_1)$



Obr. 7.3 Graf Modulové kmitočtové charakteristiky zapojení s obvodem OPA1632

Na grafu modulové kmitočtové charakteristiky je patrné, že se jedná o pásmovou propust. V grafu je označeno pásmo poklesu o 3dB vůči maximální úrovni.

Odečtením hodnot byly určeny mezní kmitočty a to $f_{m1} = 7 \text{ Hz}$ a $f_{m2} = 80 \text{ kHz}$ ze kterých je patrné, že mezní kmitočty horní propusti se od navrhnutých 1,6 Hz liší. To je pravděpodobně způsobeno nízkým řádem filtru, který je pasivní a dále záleží na přesnosti montovaných součástek.

Z těchto mezních kmitočtů pak lze určit šířku pásma tedy $B = 79,993 \text{ kHz}$

Dále byla určena strmost filtru, kde u filtru horní propusti se jedná o strmost 19,64dB/dek a u filtru dolní propusti se jedná o 25dB/dek.

Zesílení daného zapojení bylo měřeno pro několik amplitud vstupního signálu.

Tab 7.6 Zesílení vstupního signálu zapojením s obvodem OPA1632

Při $f = 1 \text{ kHz}$		
V_{IN}	V_{OUT}	$Au[-]$
0,5	1,2	2,40
1	2,32	2,32
1,2	2,8	2,33
1,8	4,16	2,31

Příklad výpočtu:

$$Au = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{2,32}{1} = 2,32 \quad (19)$$

7.2.2 Měření harmonického zkreslení obvodu OPA1632

Měření bylo prováděno při vstupním signálu $U_{IN} = 1 \text{ V}$, $f = 1 \text{ kHz}$. Na výstup obvodu byl připojen nízkofrekvenční milivoltmetr.

Harmonické zkreslení: $\text{THD+N} = 0,019\%$

7.3 Měření výstupní části s obvodem TAS5630

Pro měření výstupní části s obvodem TAS5630 je nutné do cesty signálu zařadit zapojení pro úpravu signálu s obvodem OPA1632. Tento obvod je zde nutný jelikož zapojení s obvodem TAS5630 je koncipováno jako BTL tudíž je nutný diferenční vstup signálu. Z tohoto důvodu budou některé charakteristiky ovlivněny touto skutečností.

7.3.1 Měření Modulové kmitočtové charakteristiky obvodu TAS5630

Modulová kmitočtová charakteristika je měřena při $U_{IN} = 100\text{mV}$, tedy vstup obvodu TAS5630.

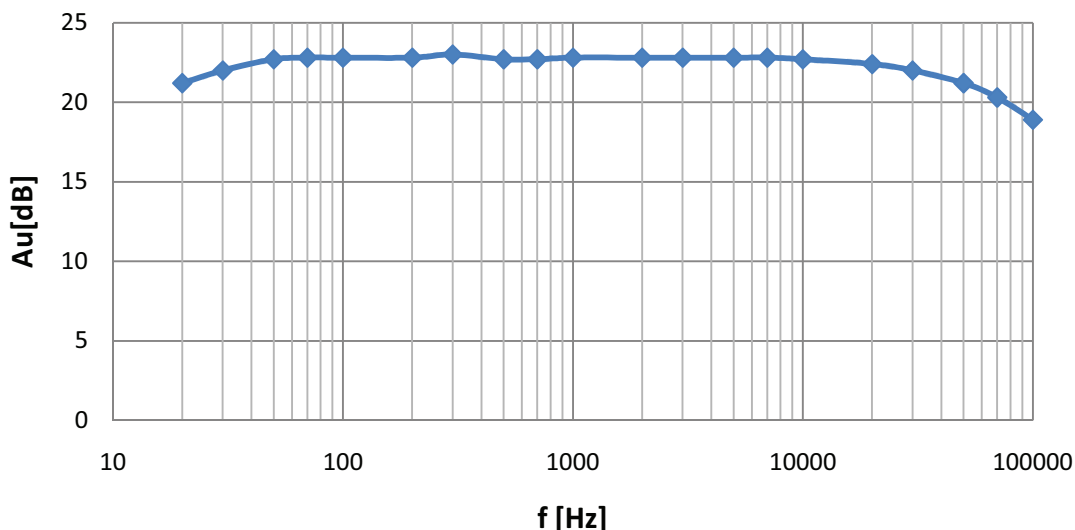
Tab 7.7 Modulová kmitočtová charakteristika výstupní části s obvodem TAS5630

f [Hz]	U ₂ [V]	Au[dB]
20	1,15	21,2
30	1,26	22
50	1,36	22,7
70	1,38	22,8
100	1,38	22,8
200	1,38	22,8
300	1,41	23
500	1,36	22,7
700	1,36	22,7
1000	1,38	22,8
2000	1,38	22,8
3000	1,38	22,8
5000	1,38	22,8
7000	1,38	22,8
10000	1,36	22,7
20000	1,32	22,4
30000	1,26	22
50000	1,15	21,2
70000	1,04	20,3
100000	0,88	18,9

Příklad Výpočtu:

$$Au[dB] = 20 * \log\left(\frac{U_2}{U_{IN}}\right) = 20 * \log\left(\frac{1,15}{0,1}\right) = 21,2 \text{ dB} \quad (20)$$

Modulová kmitočtová charakteristika zesilovače



Obr. 7.4 Graf modulové kmitočtové charakteristiky zapojení s obvodem TAS5630

Na grafu modulové kmitočtové charakteristiky lze vidět, že dochází k útlumu o 3dB na frekvenci 80kHz což je způsobeno zapojením pro úpravu signálu s obvodem OPA1632, který je umístěn mezi generátor a měřený přípravek.

Zesílení v přímé části charakteristiky se pohybuje kolem hodnoty 22,8dB což se přibližně shoduje s hodnotou udávanou výrobcem 23dB.

7.3.2 Měření maximálního výstupního výkonu a zkreslení

Maximální výstupní výkon se měří tak, že pozorujeme výstupní napětí na osciloskopu a postupně zvyšujeme vstupní amplitudu signálu $f = 1\text{kHz}$, dokud nedojde ke zkreslení tvaru výstupního signálu na osciloskopu.

Toto měření v tomto ohledu nebylo možno splnit z několika důvodů:

1. Maximální výstupní výkon jednoho kanálu zesilovače v tomto zapojení dle výrobce s dostatečným napájením dosahuje 300W při $\text{THD+N} = 10\%$ a zátěži 4Ω . Při měření však jako výstupní zátěž byl použit reproduktor s výkonem 150W / 4Ω . Proto nebylo možné dosáhnout maximálního výkonu zesilovače.
2. Výstupní svorky pro připojení reproduktoru jsou koncipovány jako plovoucí tudíž neobsahují referenční zem. Z tohoto důvodu nebylo možné připojení osciloskopu ani milivoltmetru pro měření zkreslení.

Proto bylo možné změřit pouze aktuální výstupní výkon nastavený dle napájení a to tak, že pomocí střídavého voltmetru bylo změřeno výstupní napětí.

$$U_{OUT} = 17,22 \text{ V}$$

Pak je výstupní výkon roven :

$$P = \frac{U_{OUT}^2}{R_Z} = \frac{17,22^2}{4} = 74,13 \text{ W} \quad (21)$$

Výstupní výkon $P = 74,13 \text{ W}$ při zátěži 4Ω

7.3.3 Měření účinnosti

Účinnost lze stanovit jako poměr výstupního výkonu zesilovače k jeho příkonu.

$$\eta = \frac{P}{P_{VST}} = \frac{P}{U_{IN} * I_{IN}} = \frac{74,13}{26 * 3,52} = 81 \% \quad (22)$$

Vstupní napětí = 26 V

Vstupní proud = 3,52 A

Účinnost $\eta = 81 \%$ což je méně než udává výrobce tedy 85%.

7.3.4 Měření vstupního odporu zesilovače

Z důvodu diferenčního vstupu zesilovače bylo nutno vložit mezi nízkofrekvenční generátor a přípravek do série dva cejchované odpory, každý do jedné větve. Při nastavené hodnotě 0Ω na obou z nich bylo nastaveno zvolené výstupní napětí $U_{OUT} = 1 \text{ V}$. Poté stejným zvyšováním cejchovaných odporů bylo výstupní napětí sníženo na polovinu. Měření bylo prováděno na frekvenci 1 kHz.

Vstupní odpor $R_{IN} = 32 \text{ k}\Omega$

7.3.5 Měření výstupního odporu zesilovače

Měření výstupního odporu se provádí tak, že se při zátěži 4Ω co nejpřesněji změří výstupní napětí $U_{OUT} = 12,3 \text{ V}$. Pak se přepne zátěž do stavu $R_Z = \infty$ a opět se změří výstupní napětí $U_{OUT2} = 12,76 \text{ V}$.

$$R_{Vyst} = R_Z * \frac{U_{OUT2} - U_{OUT}}{U_{OUT}} = 4 * \frac{12,76 - 12,3}{12,3} = 0,149 \Omega \quad (23)$$

Výstupní odpor = $0,149\Omega$

7.3.6 Určení činitele tlumení zátěže

Činitel tlumení je roven

$$D = \frac{R_Z}{R_{výst}} = \frac{4}{0,149} = 26,84 \quad (24)$$

Činitel tlumení = 26,84 což je přibližně stejné jako udává výrobce $D = 27$.

7.3.7 Použité měřicí přístroje

Generátor Agilent 33220A

Digitální osciloskop Tektronix

Nízkofrekvenční milivoltmetr Grundig MV100

Multimetr UNI-T T-70

Multimetr UNI-T T-30D

Regulovatelný zdroj Tesla

Cejchovaný proměnný odpor 100kΩ

Zátěž 4Ω reproduktor 150W

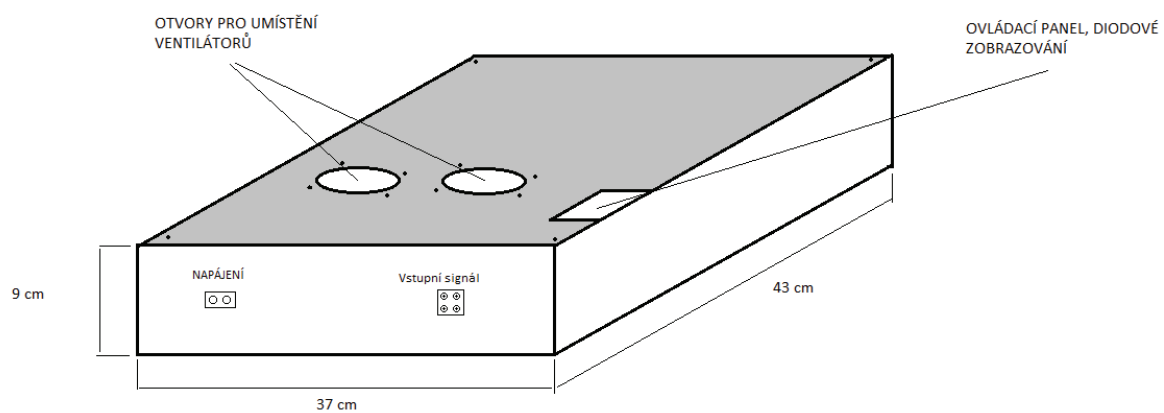
8 NÁVRH ULOŽENÍ ČÁSTÍ ZESILOVAČE

Jelikož nebyla nalezena vhodná přístrojová krabice, bylo nutno tuto krabici vyrobit.

Na obr 8.1 je zakreslen jednoduchý plán pro vytvoření přístrojové krabice vhodné pro uložení komponent zesilovače. Přístrojová krabice byla vytvořena z pozinkovaného plechu a poté lakována černou lesklou barvou.

Horní strana lze samostatně odšroubovat pro lepší instalaci komponent do krabice. V této horní desce se také nacházejí dva otvory pro umístění ventilátorů, které jsou ovládány jednotkou TAS5630.

Ovládací panel obvodu MAX5486 bude taktéž vyveden na horní stranu přístrojové krabice



Obr. 8.1 Návrh přístrojové krabice vhodné pro uložení zesilovače

9 ZÁVĚR

Tématem této bakalářské práce bylo navrhnout a sestavit čtyřkanálový spínaný zesilovač pro použití v automobilu s korekčním předzesilovačem a minimálním výstupním výkonem 4 x 50W

Teoretická část:

Řešení tohoto návrhu bylo rozděleno na několik stupňů dle blokového schématu zesilovače.

Nejdříve byl navržen digitální potenciometr pomocí obvodu MAX5486, který upravuje hlasitost a vyvážení vstupního signálu. Obvodová část s tímto zapojením je v konstrukci autozesilovače použita 2x a to pro přední a zadní reproduktory.

Další část zesilovače tvoří pasivní horní propust, která odstraňuje nepotřebné nízké frekvence a dále aktivní dolní propust s plně diferenčním operačním zesilovačem OPA1632. Tento operační zesilovač vytváří dvojici signálů potřebnou pro správnou funkci výkonového stupně zesilovače, který tvoří dva obvody TAS5630, kde vždy dva kanály jsou zapojeny do můstku pro získání většího výkonu.

Poslední část zapojení tvoří sestava zdrojů pro výkonový stupeň obvodu TAS5630. Tyto zdroje pracují jako zvyšující DC/DC měnič, řízený obvodem LTC3862.

Pro návrh desek plošných spojů byl vybrán program Eagle. Deska pro digitální potenciometr, úpravu signálu a výkonovou část byla navržena jako oboustranná s prokovením.

Kvůli uložení zesilovače pak byla navržena přístrojová krabice, která je popsána v kapitole 8 a vyfocena v příloze E1.

Praktická část:

Nejdříve došlo k vytvoření desek plošných spojů dle návrhu v dílně VUT. Osazení součástek na desky plošných spojů a poté sestavení jednotlivých částí zesilovače kromě zdrojové části, která z časových důvodů nebyla sestavena pouze navržena v programu LTspice IV.

Dále byla provedena kontrola jednotlivých zapojení a postupné oživení jednotlivých částí a proměření potřebných charakteristik pro porovnání s údaji výrobce.

Měření zapojení digitálního potenciometru s obvodem MAX5486.

Nejdříve byla změřena charakteristika závislosti útlumu na pozici ukazatele Volume, kde lze z Obr.7.1 pozorovat téměř lineární charakteristiku, která se od charakteristiky udávané výrobcem liší pouze o desetiny dB. Ke konci charakteristiky lze pak pozorovat větší odchylka, která byla způsobena přesností měření.

Dále byla změřena charakteristika závislosti útlumu na pozici ukazatele Balance, která udává, jak se změní útlum jednoho z kanálů vůči druhému při změnách pozice ukazatele Balance. Jak je vidět na Obr.7.2 při posouvání Balance směrem vlevo dochází

k postupnému útlumu pravého kanálu se stejným krokem 2 dB jako je tomu při změně ukazatele Volume, s tím rozdílem, že zde dochází k útlumu pouze jednoho z kanálů.

Při měření přeslechu mezi kanály se hodnota pohybuje od -77,96dB po -68,54 dB u přeslechu z levého kanálu do pravého a od -77,36 dB po -68,59 dB u přeslechu z pravého kanálu do levého. Tyto hodnoty velmi výrazně nesouhlasí s udávanou hodnotou výrobce 100dB. Pravděpodobnou příčinou je návrh desky plošného spoje kdy by bylo vhodné od sebe jednotlivé kanály více oddělit, nejlépe nulovým potenciálem.

Harmonické zkreslení THD+N změřené pro pravý kanál bylo 0,083 % a pro levý pak 0,072 % což se také liší od hodnoty 0,003% udávané výrobcem. Výrobce však již neuvádí, zda tato hodnota byla naměřena v určitém zapojení nebo zda-li se jedná o zkreslení pouze samotné vnitřní struktury čipu. V tomto případě by pak na celkovou hodnotu zkreslení měly vliv i další součástky umístěné do zapojení s obvodem MAX5486.

Výsledek měření vstupního odporu pro oba kanály je 41k Ω , výrobce pak udává 42k Ω .

Měření obvodového zapojení pro úpravu signálu s obvodem OPA1632

U tohoto zapojení byla nejdříve změřena modulová kmitočtová charakteristika, která měla dle návrhu odpovídat pásmové propusti s dolním mezním kmitočtem na 1,6 Hz a horním mezním kmitočtem 80kHz. Na Obr.7.3 pak lze vidět, že dolní mezní kmitočet se posunul na hodnotu 7 Hz, což může být způsobeno výběrem součástek, které jsou v určité toleranci. Horní mezní kmitočet byl naměřen stejný jako dle návrhu tedy 80kHz.

Změřená šířka pásma je pak rovna $B = 79,993\text{kHz}$.

Dále pak byla změřena strmost jednotlivých filtrů, kde pasivní filtr horní propusti 1. řádu má strmost 19,64dB/dek a aktivní filtr dolní propusti 2. řádu má strmost 25dB/dek.

Zesílení vstupního signálu obvodem OPA1632 se pak pohybuje od $A_u = 2,4$ po $A_u = 2,31$ dle vstupního napětí.

Harmonické zkreslení THD+N zapojení s obvodem OPA1632 bylo 0,019% což je také rozdílné od výrobcem udávané hodnoty 0,000022 %. Zde je však nutno brát v úvahu celé zapojení obvodu, kde se nachází také pasivní filtr a další prvky, které výsledné harmonické zkreslení výrazně ovlivňují. Proto zde nelze porovnávat hodnotu udávanou výrobcem pro jednotlivý čip a hodnotu změřenou na části zapojení.

Měření výstupní části s obvodem TAS5630

V této části měření bylo nutno použít zapojení pro úpravu signálu s obvodem OPA1632 mezi výstup generátoru a vstup do obvodu TAS5630 a to z důvodu, že obvod TAS5630 obsahuje diferenční vstupy.

Nejdříve byla změřena modulová kmitočtová charakteristika, která je vidět na Obr.7.4. K této charakteristice je nutno dodat, že se nejedná o charakteristiku samotného obvodu TAS5630, jelikož jak bylo napsáno, je zde na vstupu obvod s OPA1632, který obsahuje pásmovou propust. Z tohoto důvodu lze vidět pokles charakteristiky v okolí mezního horního kmitočtu zapojení s OPA1632 tedy $f_m = 80\text{kHz}$.

Zesílení v neutlumené části charakteristiky se pak pohybuje kolem hodnoty 22,8dB, což je přibližně totožné jako udávaných 23dB od výrobce.

Jak již bylo napsáno, v kapitole 7.3.2, u tohoto zapojení nebylo možno změřit maximální výstupní výkon a zkreslení výstupní části. A to z důvodů maximálního výstupního výkonu udávaného výrobcem při dostatečném napájení. Jelikož pak je kladná a záporná výstupní svorka pro reproduktor plovoucí (nejedná se o referenční zem) nebylo možné k těmto svorkám připojit osciloskop pro měření limitace či nízkofrekvenční milivoltmetr pro měření zkreslení.

Výstupní výkon při napájení výstupní části zesilovače $U_{IN} = 26\text{V}$ pak byl 74,13W při zátěži 4Ω

Ze vstupního napětí, proudu a výstupního výkonu pak byla stanovena účinnost zesilovače $\eta = 81\%$ což je nižší hodnota než jakou udává výrobce tedy 85%.

Vstupní odpor zesilovače pak byl změřen $R_{IN} = 32\text{k}\Omega$ a výstupní odpor $R_{OUT} = 0,149\Omega$.

Činitel tlumení zátěže byl změřen $D = 26,84$ což je přibližně stejné jako 27 udávaných výrobcem.

Zdrojová část

Z časových důvodů nebyla zhotovena realizace zdrojové části, která zůstala pouze ve fázi návrhu a počítačové simulace.

Z tohoto důvodu je hotova pouze signálová a zesilovací část autozesilovače spínané koncepce s minimálním výkonem $4 \times 50\text{ W}$ u které je možno konstatovat, že většina parametrů se alespoň přibližuje parametrům zadaných výrobcem. U parametrů zkreslení THD+N, které se s výrobcem neshodují, je nutné podotknout, že výrobcem udávají hodnoty pouze pro samostatné čipy a ne kompletní zapojení, které zde byla měřena. Tyto hodnoty by pak bylo možno zlepšit případnou úpravou desek plošných spojů či výměnou některých součástek za kvalitnější.

LITERATURA

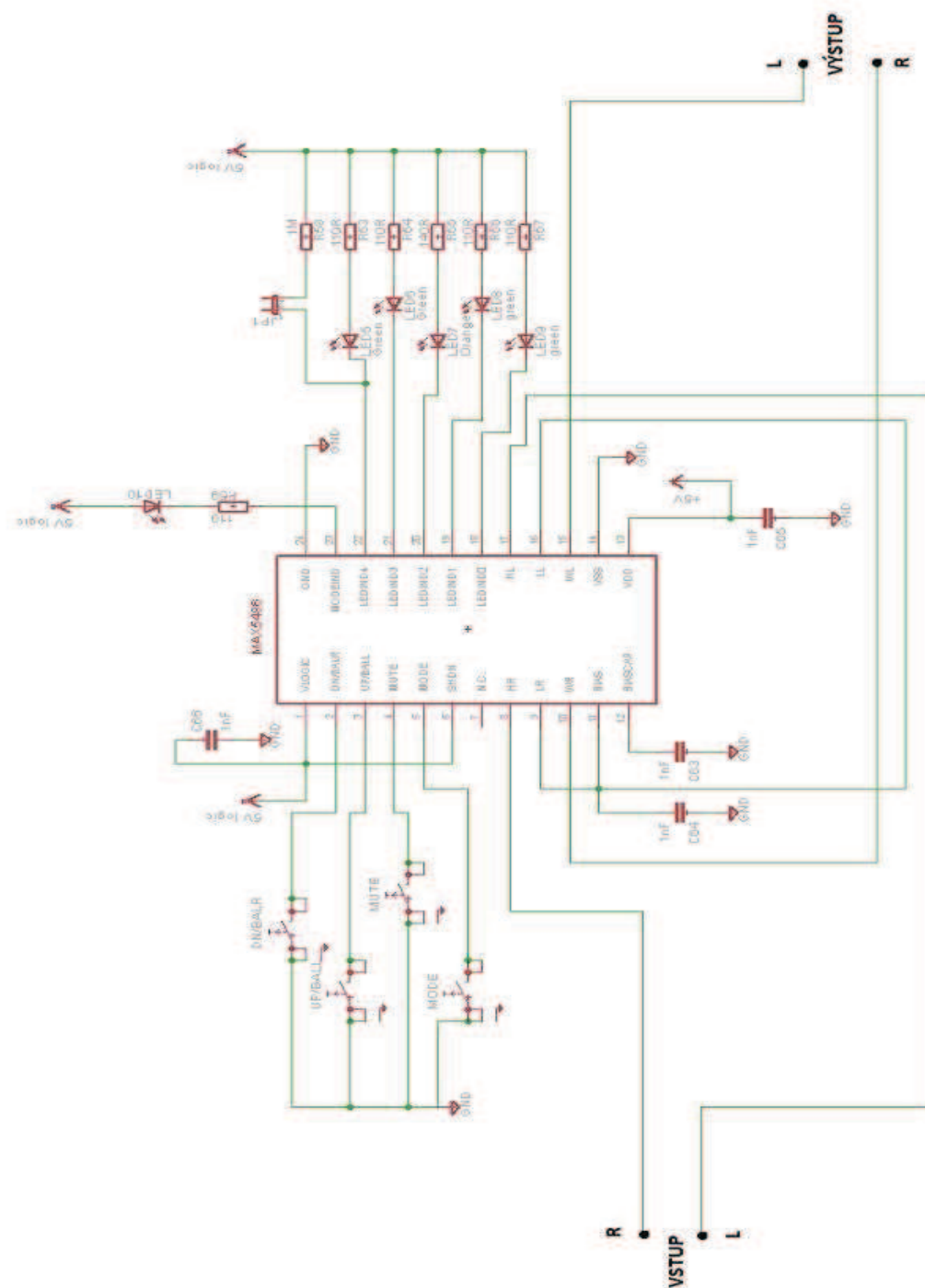
- [1] Štal.P., *Výkonové audio zesilovače pracující ve třídě D*, Praha : Technická literatura BEN 2008, 198s. [cit. 18. listopadu 2009]. ISBN 978-80-7300-230-5
- [2] MAXIM, *Katalogové listy MAX5468 Stereo Volume Control with Pushbutton Interface*. MAXIM Integrated Products 2006, 16s. [cit. 25.prosince 2009]. Dostupné z WWW:<<http://www.maxim-ic.com>>
- [3] TEXAS INSTRUMENT, *Katalogové listy TAS5630*.Texas Instrument Incorporated 2009, 34s. [cit. 28. prosince 2009]. Dostupné z WWW:<<http://www.ti.com>>
- [4] TEXAS INSTRUMENT, *Katalogové listy OPA1632*.Texas Instrument Incorporated 2003, 17s. [cit. 29. prosince 2009]. Dostupné z WWW:<<http://www.ti.com>>
- [5] LINEAR TECHNOLOGY, *Katalogové listy LTC3862 Multi-Phase Current Mode Step-Up DC/DC Controller*. Linear technology Corporation 2008, 40s. [cit. 2. ledna 2010]. Dostupné z WWW:<<http://www.linear.com>>

SEZNAM PŘÍLOH

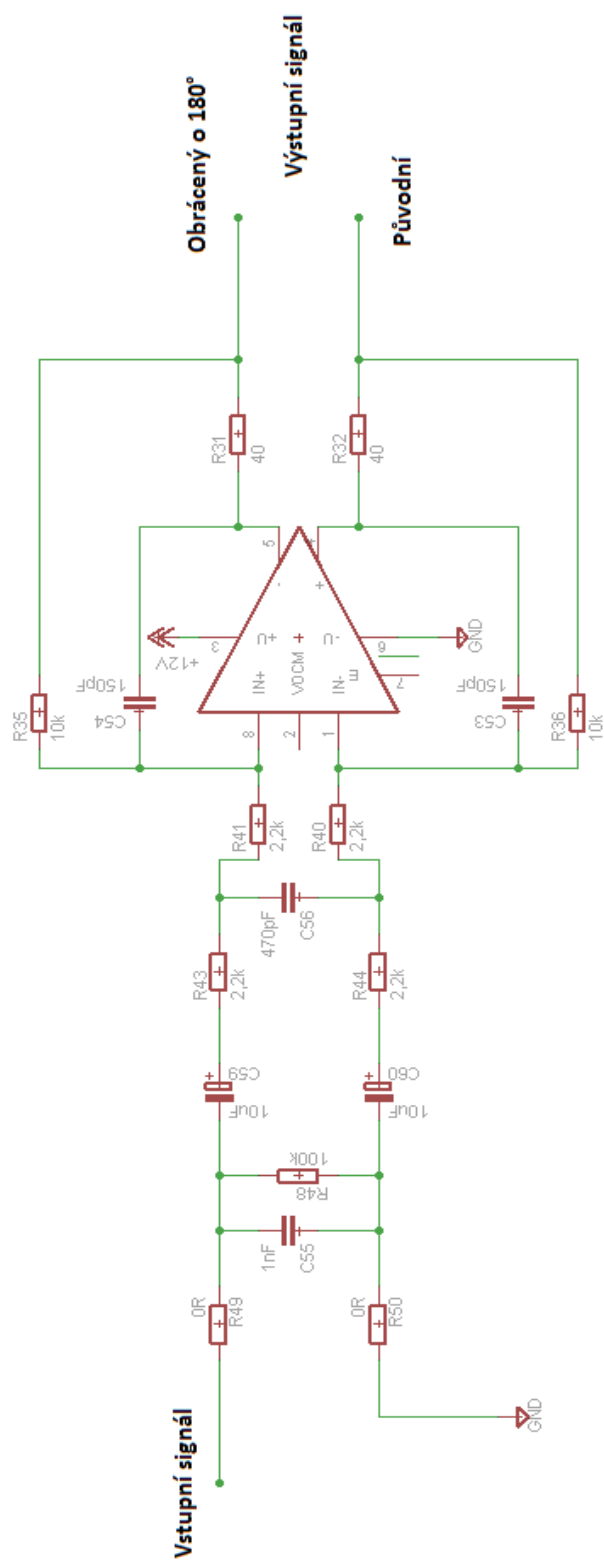
A	Návrh zařízení	41
A.1	Zapojení obvodu digitálního potenciometru s obvodem MAX5486	41
A.2	Schéma zapojení obvodu pro úpravu signálu s obvodem OPA1632	42
A.3	Doplňkové obvody TAS5630 –ovládání zapnutí/vypnutí	43
A.4	Doplňkové obvody TAS5630 –zobrazení stavu obvodu	43
A.5	Doplňkové obvody TAS5630 –regulace ventilátoru	44
A.6	Doplňkové obvody TAS5630 –12V lineární regulátor.....	44
A.7	Zapojení obvodu TAS5630 (převzato z [3]).....	45
A.8	Schéma zapojení DC-DC měniče s obvodem LTC3862	46
B	Desky plošných spojů	47
B.1	Deska plošného spoje digitálního potenciometru MAX5486.....	47
B.2	Deska plošného spoje pro úpravu signálu s obvodem OPA1632	48
B.3	Deska plošného spoje výstupní části s obvodem TAS5630	49
C	Osazovací Plány	51
C.1	Osazovací plán desky elektronického potenciometru MAX5486	51
C.2	Osazovací plán desky pro úpravu signálu s obvodem OPA1632	52
C.3	Osazovací plán výstupní části s obvodem TAS5630.....	53
D	Seznamy součástek	54
D.1	Seznam součástek pro desku plošného spoje s obvodem MAX5486	54
D.2	Seznam součástek pro desku plošného spoje s obvodem OPA1632	55
D.3	Seznam součástek pro desku plošného spoje s obvodem TAS5630.....	56
D.4	Seznam ostatních součástek.....	57
E	Fotografie	58

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

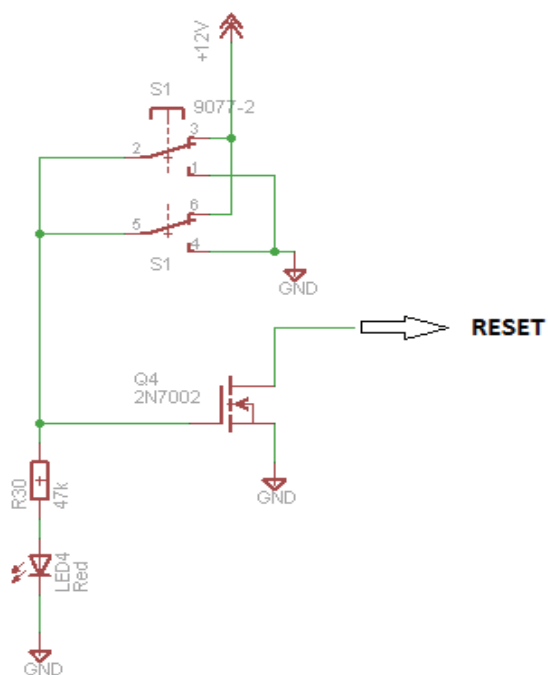
A.1 Zapojení obvodu digitálního potenciometru s obvodem MAX5486



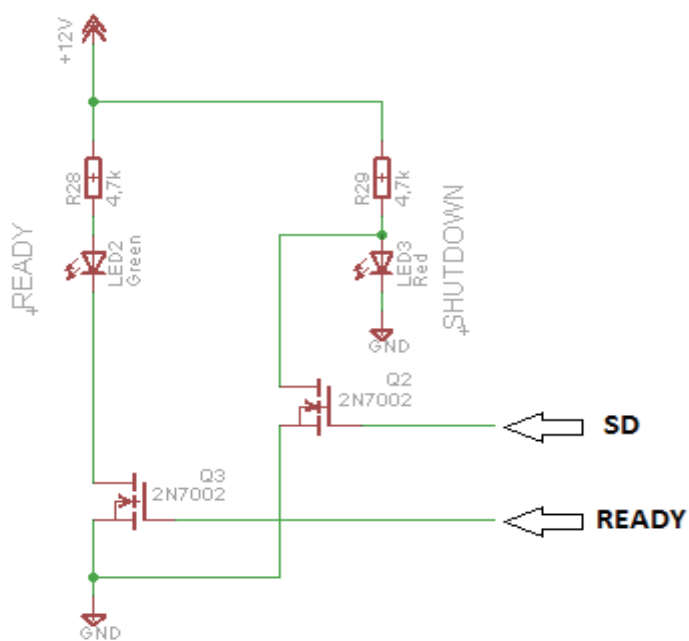
A.2 Schéma zapojení obvodu pro úpravu signálu s obvodem OPA1632



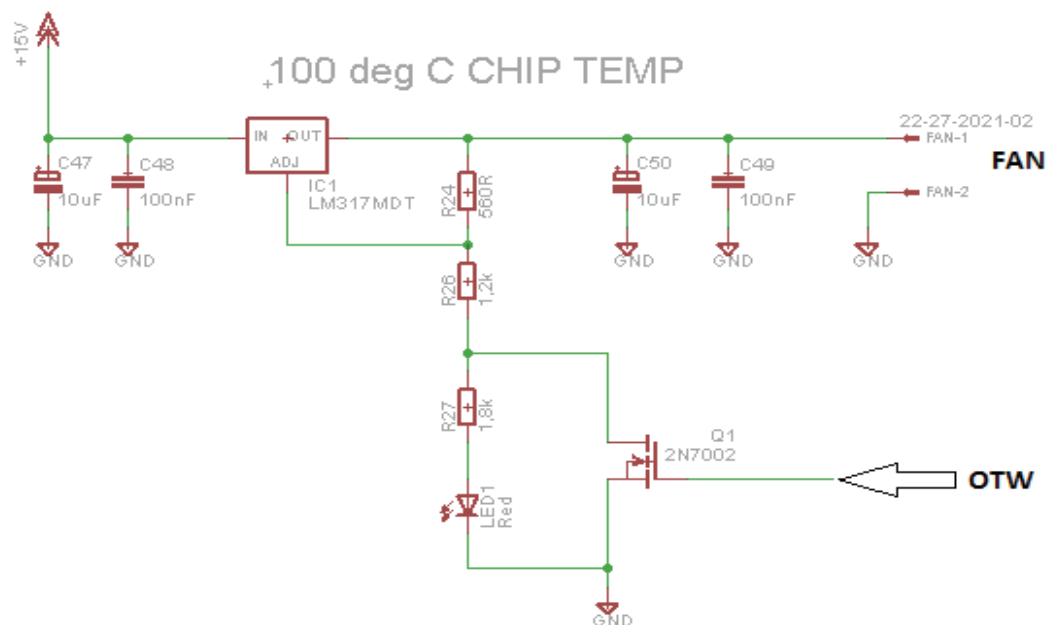
A.3 Doplnkové obvody TAS5630 – ovládání zapnutí/vypnutí



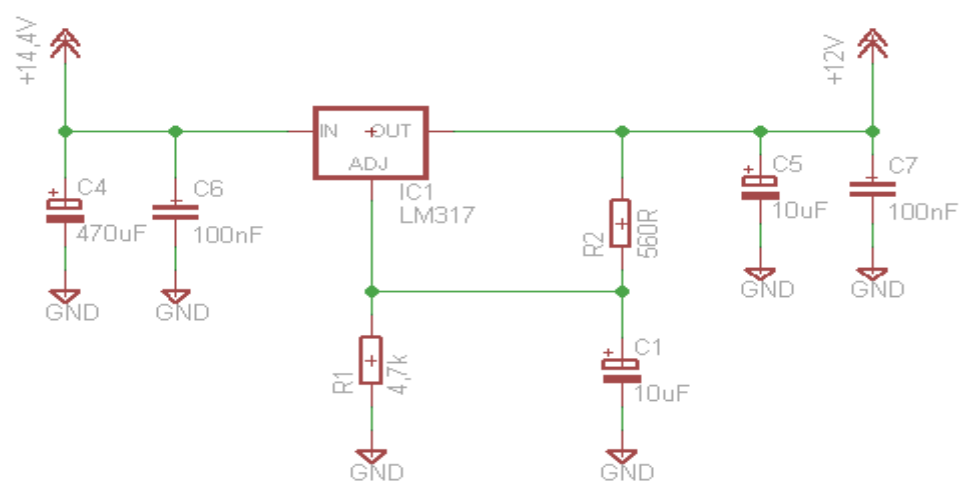
A.4 Doplnkové obvody TAS5630 – zobrazení stavu obvodu



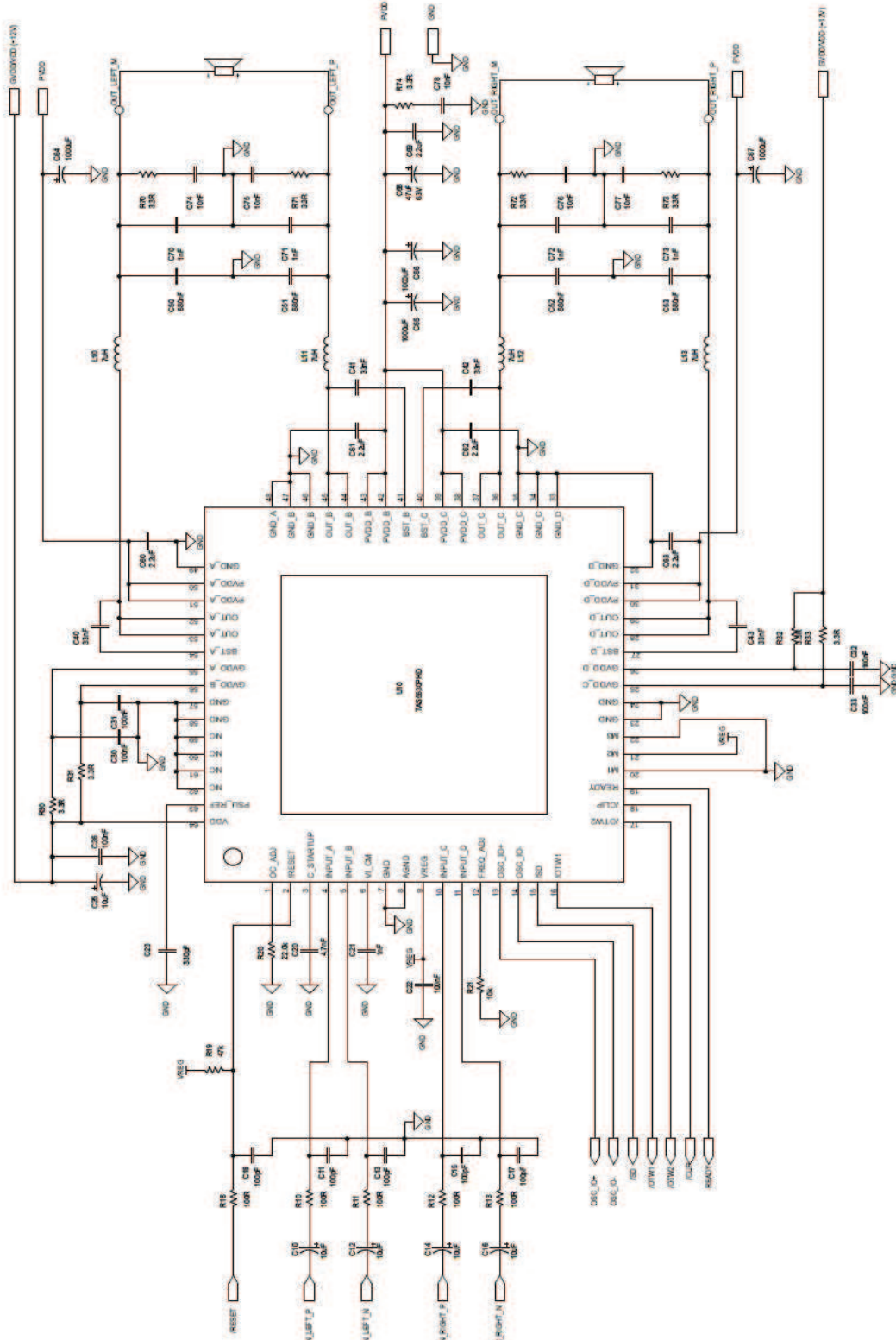
A.5 Doplnkové obvody TAS5630 – regulace ventilátoru



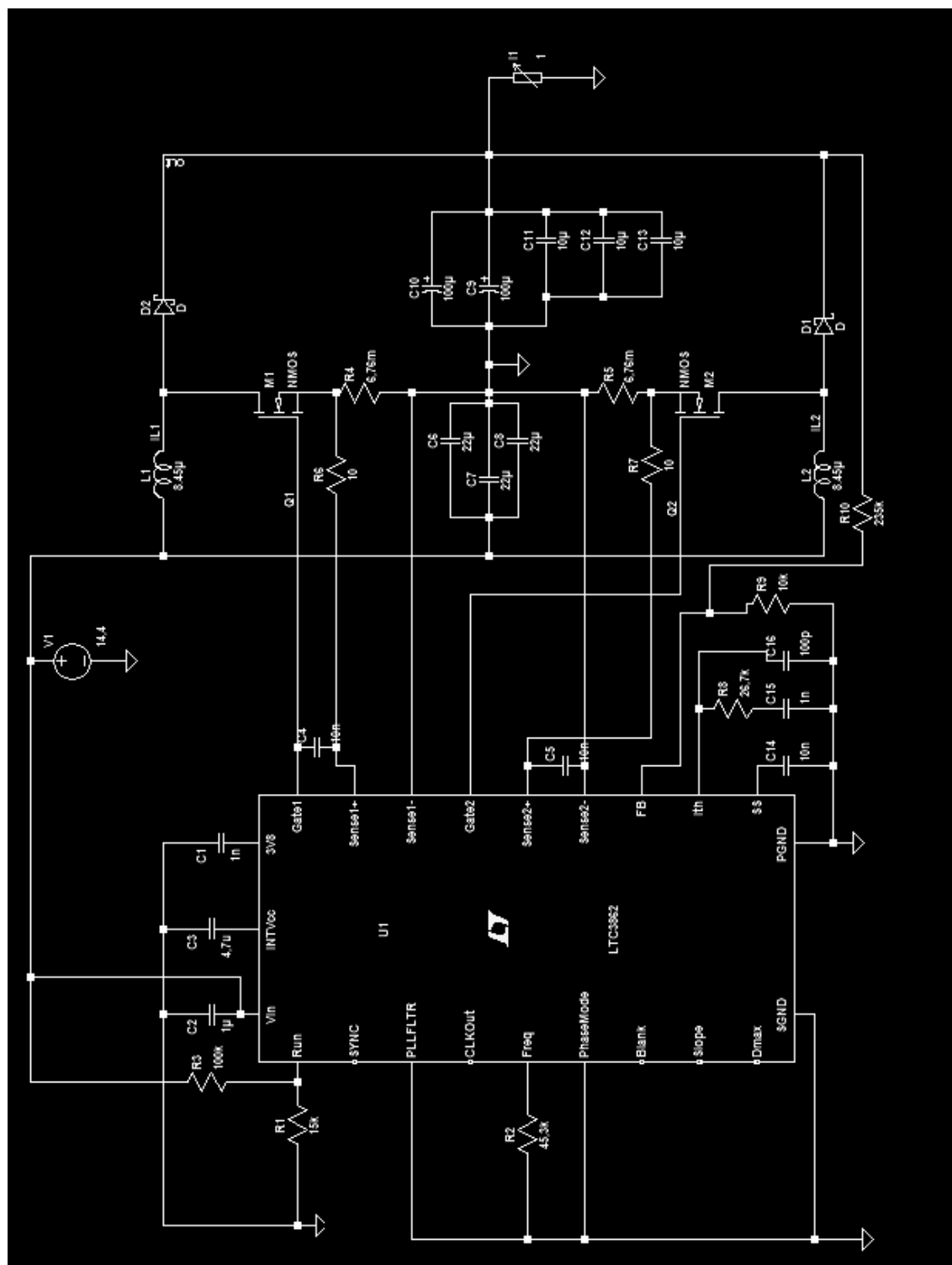
A.6 Doplnkové obvody TAS5630 –12V lineární regulátor



A.7 Zapojení obvodu TAS5630 (převzato z [3])

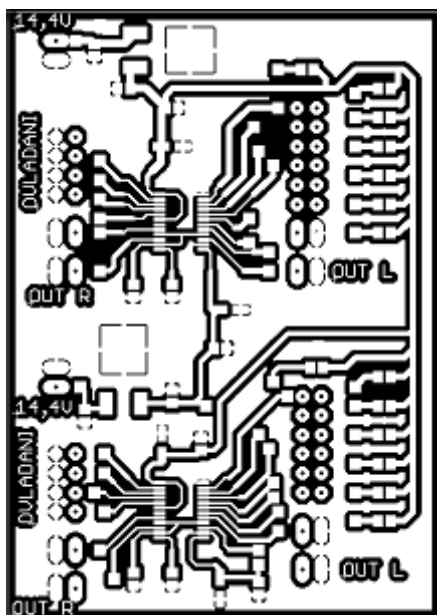


A.8 Schéma zapojení DC-DC měniče s obvodem LTC3862

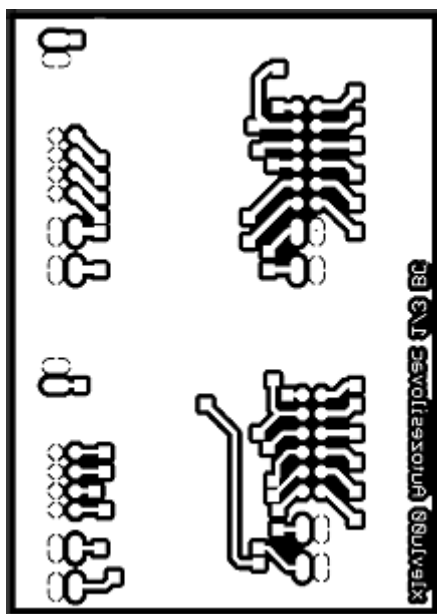


B DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ

B.1 Deska plošného spoje digitálního potenciometru MAX5486

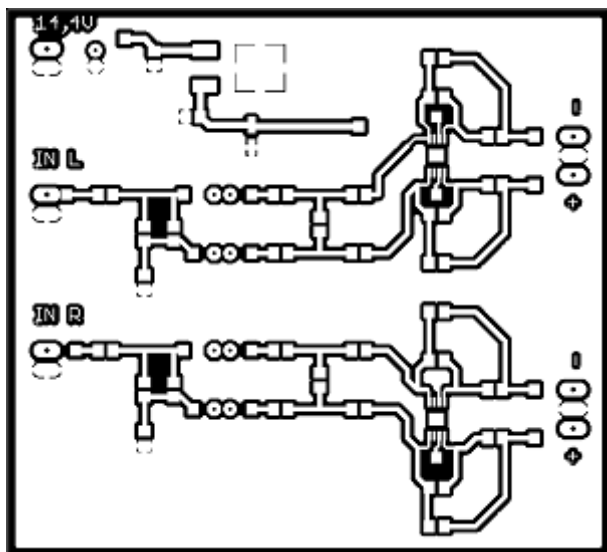


B1.9.1 DPS obvodu MAX5486 pohled TOP, měřítko 1:1

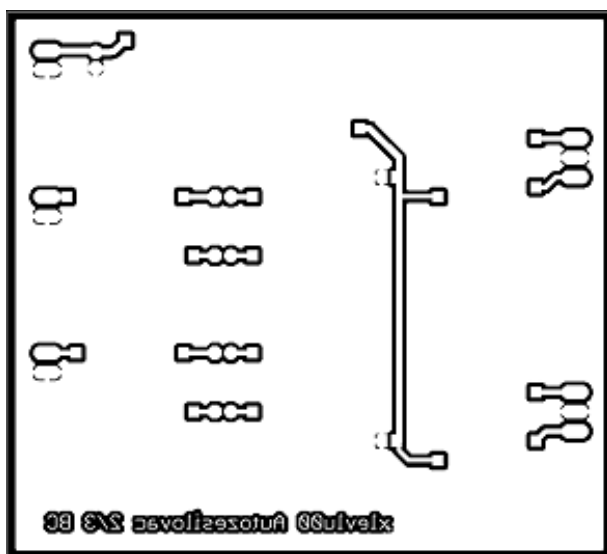


B1.9.2 DPS obvodu MAX5486 pohled BOTTOM, měřítko 1:1

B.2 Deska plošného spoje pro úpravu signálu s obvodem OPA1632

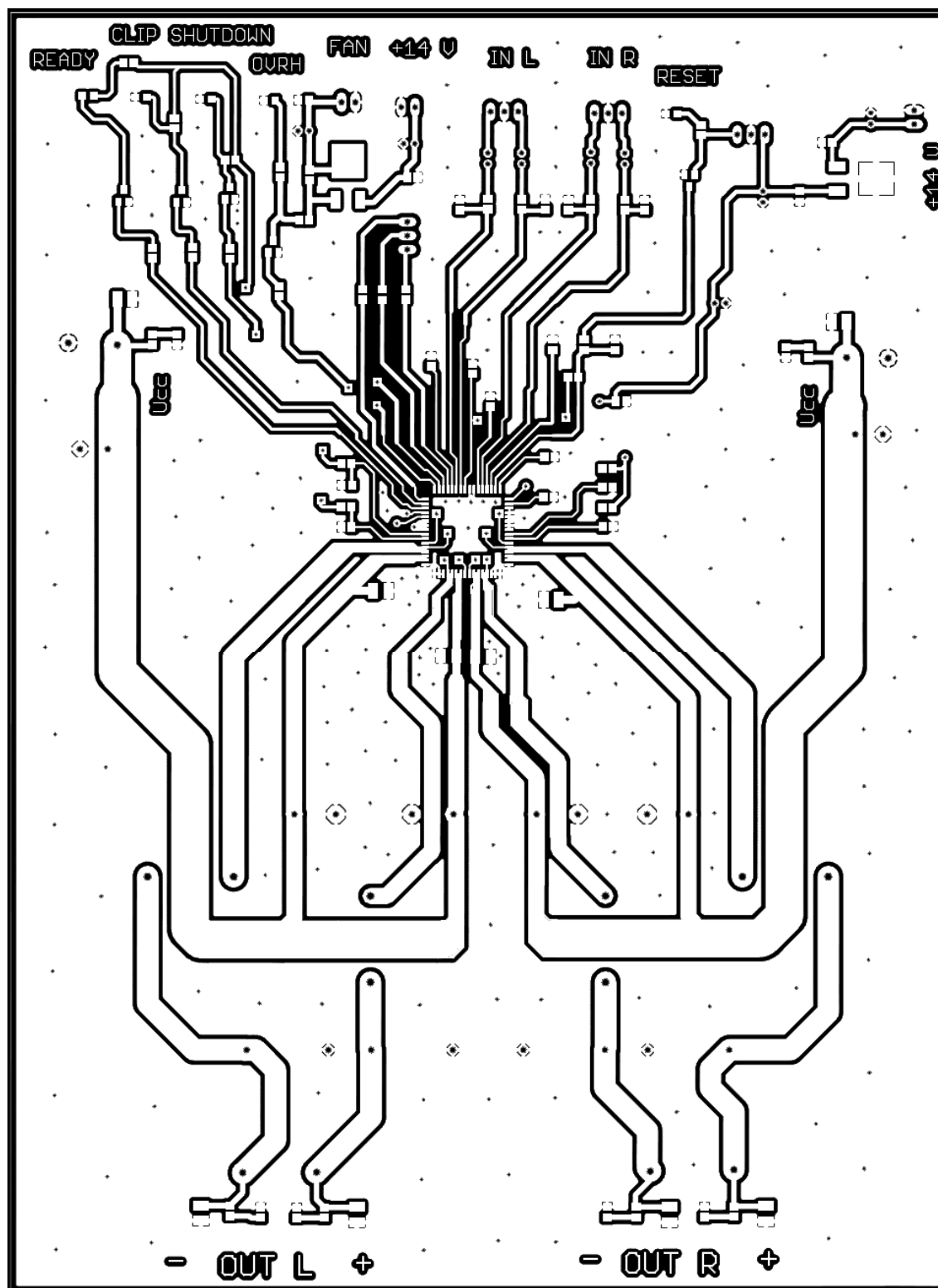


B2.1 DPS s obvodem OPA1632 pohled TOP, měřítko 1:1

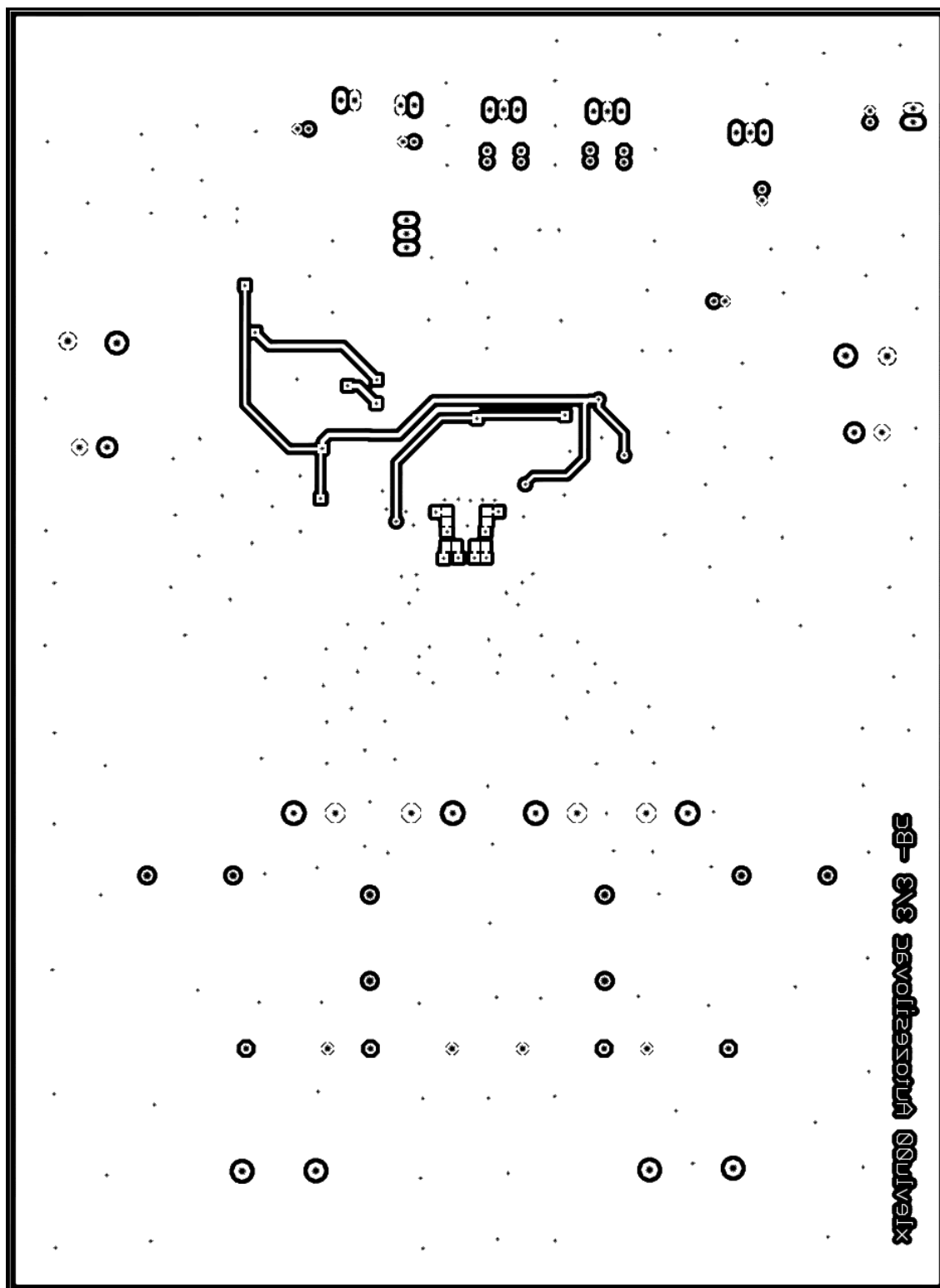


B2.2 DPS s obvodem OPA1632 pohled BOTTOM, měřítko 1:1

B.3 Deska plošného spoje výstupní části s obvodem TAS5630



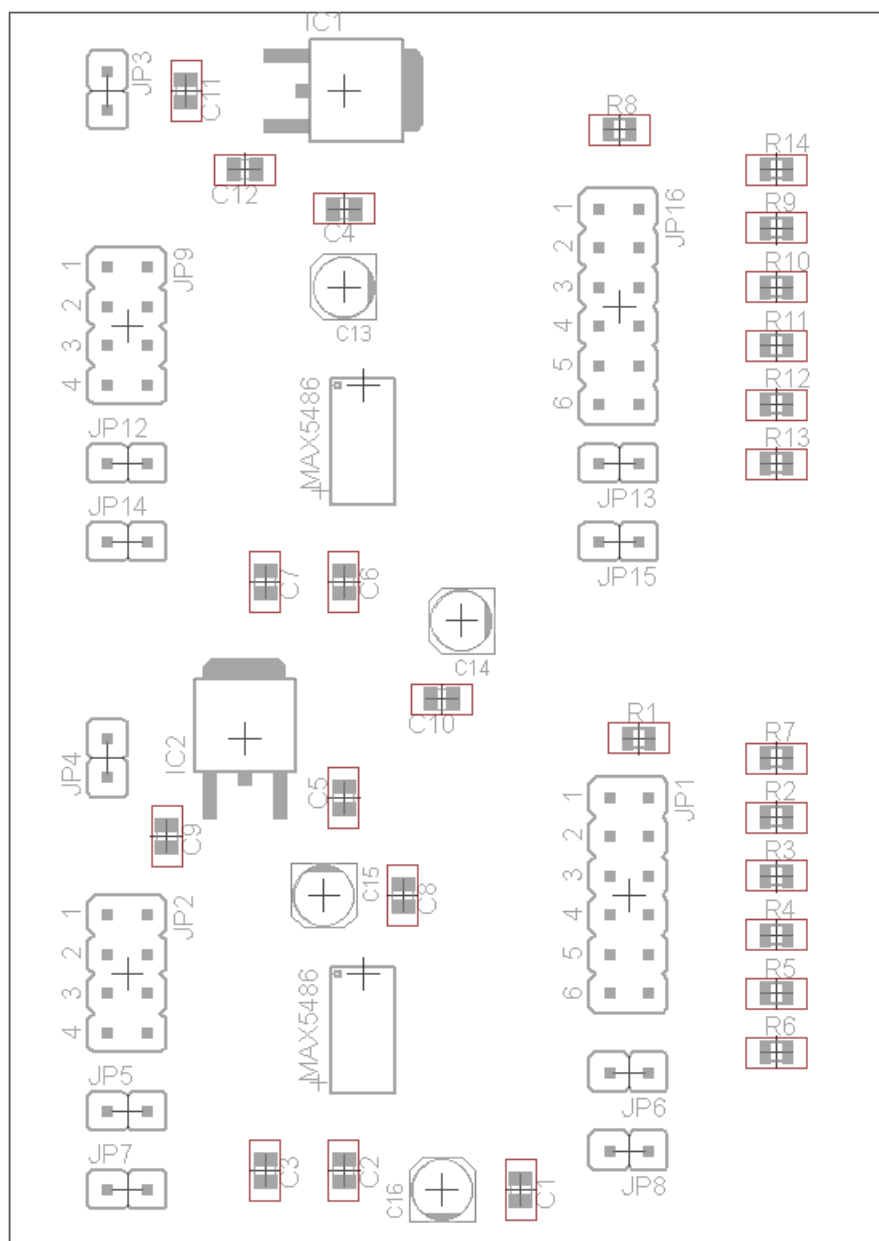
B3.1 DPS výstupní části s obvodem TAS5630 pohled TOP, obrázek není v měřítku.



B3.2 DPS výstupní části s obvodem TAS5630 pohled BOTTOM, není v měřítku

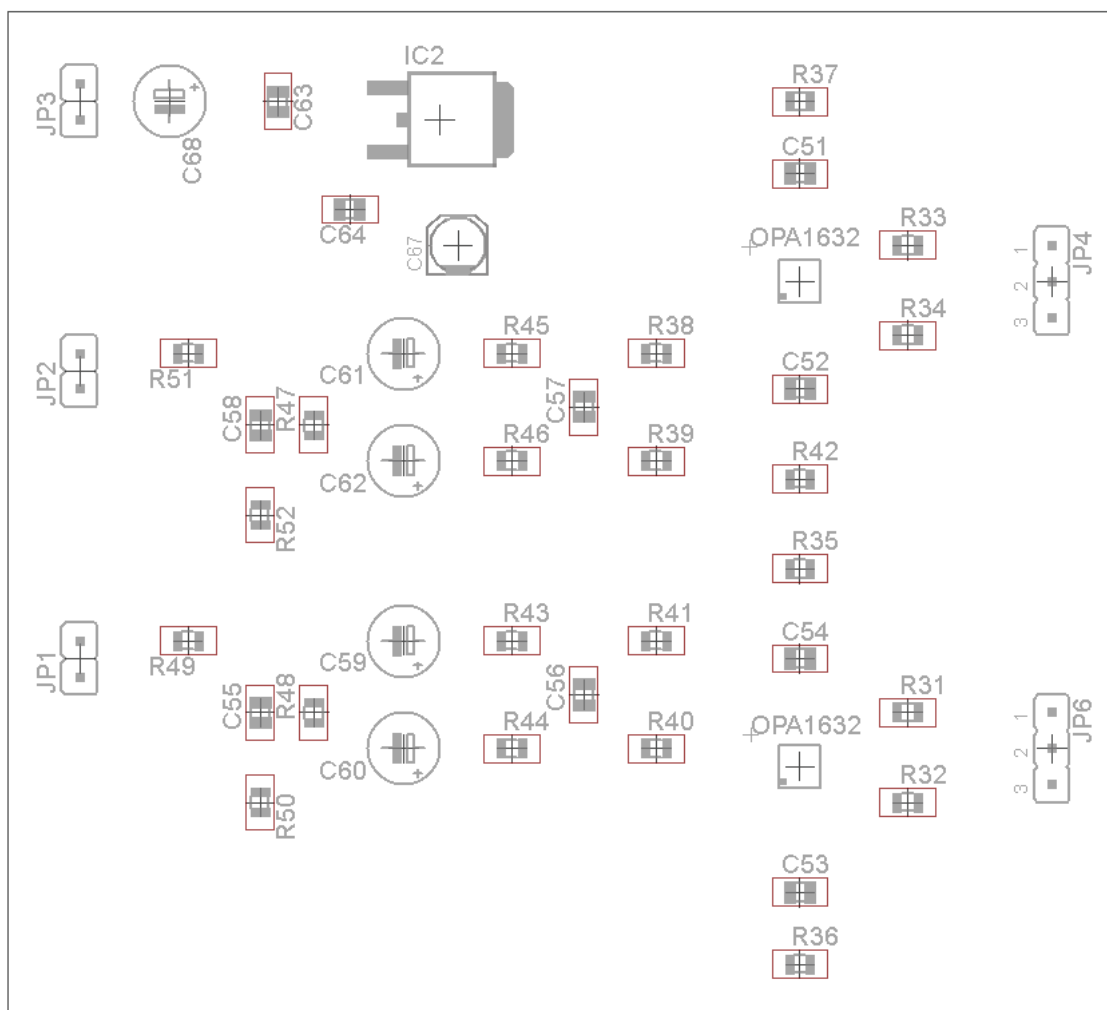
C OSAZOVACÍ PLÁNY

C.1 Osazovací plán desky elektronického potenciometru MAX5486



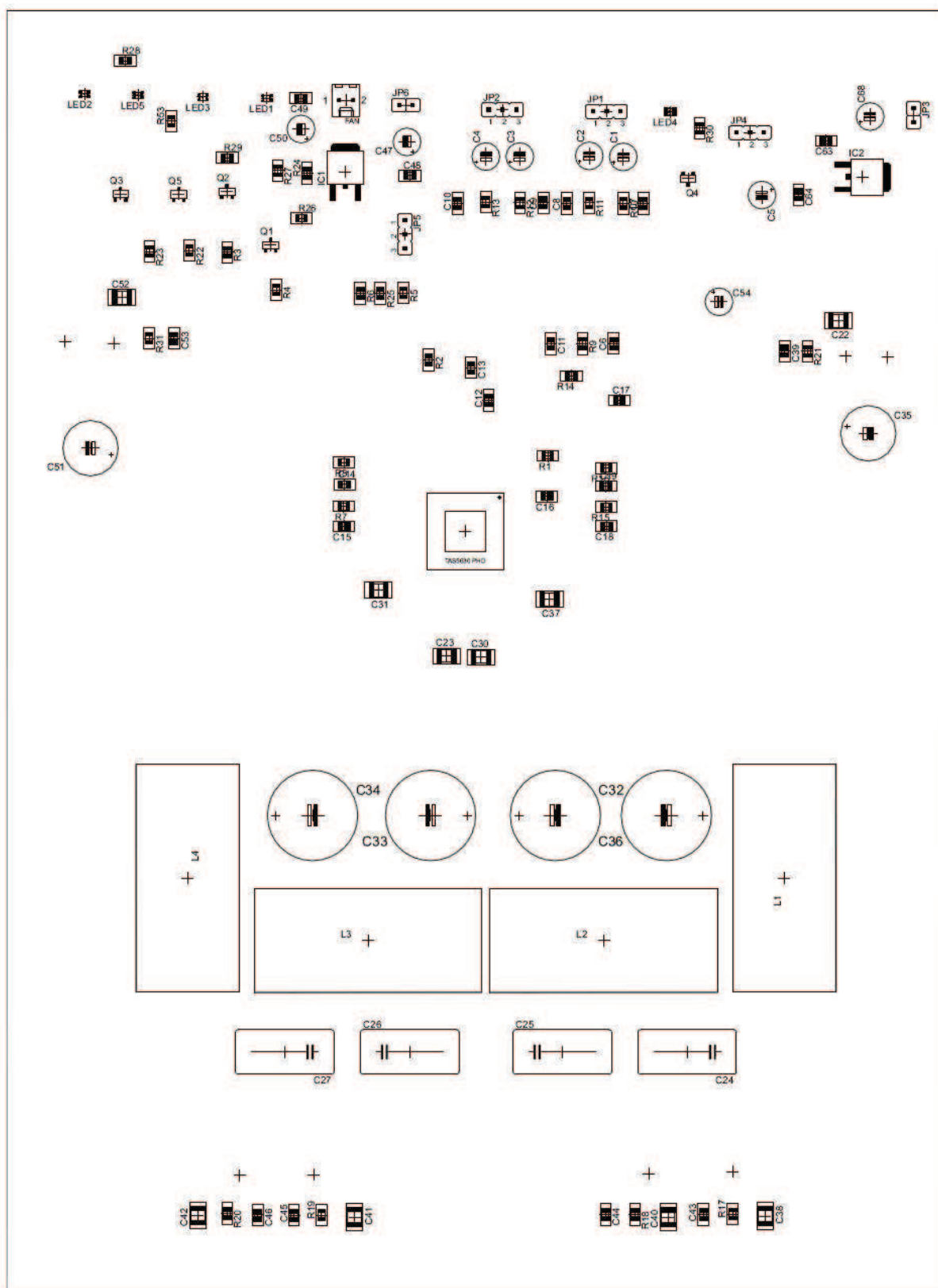
C1.1 Osazovací plán desky obvodu MAX5486 pohled TOP, bez měřítka

C.2 Osazovací plán desky pro úpravu signálu s obvodem OPA1632



C2.1 Osazovací plán desky pro úpravu signálu s obvodem OPA1632 pohled TOP, bez měřítka

C.3 Osazovací plán výstupní části s obvodem TAS5630



C3.1 Osazovací plán výstupní části s obvodem TAS5630 pohled Top, bez měřítka,

D SEZNAMY SOUČÁSTEK

D.1 Seznam součástek pro desku plošného spoje s obvodem MAX5486

Tab 9.1 Seznam součástek pro desku plošného spoje digitálního potenciometru s obvodem MAX5486

Označení	Hodnota	Upřesnění
C1 C4 C5 C8 C10 C12	100nF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C2 C6 C10 C12	1uF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C3 C7	100pF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C9 C11	0.33uF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C13 C14 C15 C16	10uF	Elektrolytický kondenzátor SMD velikost 4 x 5,8 mm
IC1 IC2	L78M05	Stabilizátor napětí pouzdro DPACK
JP1 - JP16		Jumper - počítačový konektor
R1 R8	1M Ω	Odpor SMD velikost R0805
R2 - R7 R9 -R14	140 Ω	Odpor SMD velikost R0805
U $\$$ 1 U $\$$ 2	MAX5486	IO MAX 5486 - MAXIM
LED1 - LED5	Green	Dioda SMD velikost 0805
BT1 - BT4		Mikrospínač

D.2 Seznam součástek pro desku plošného spoje s obvodem OPA1632

Tab 9.2 Seznam součástek pro desku plošného spoje s obvodem OPA1632

Označení	Hodnota	Upřesnění
C51 C52 C53 C54	150pF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C55 C58	1nF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C56 C57	470pF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C67	10uF	Elektrolytický kondenzátor SMD velikost 4 x 5,8 mm
C59 C60 C61 C62 C68	10uF	Elektrolytický kondenzátor velikost 2 x 5 mm
C63	0.33uF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C64 C65 C66	100nF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
IC2	L78M12	Stabilizátor napětí pouzdro DPACK
JP1 - JP6		Jumper - počítačový konektor
R31 R32 R33 R34	40Ω	Odpor SMD velikost R0805
R35 R36 R37 R42	10kΩ	Odpor SMD velikost R0805
R38 R39 R40 R41 R43 R44 R45 R46	2,2kΩ	Odpor SMD velikost R0805
R47 R48	100kΩ	Odpor SMD velikost R0805
R49 R50 R51 R52	0Ω	Odpor SMD velikost R0805
U\$2 U\$3	OPA1632	IO OPA1632 - TEXAS INSTRUMENT

D.3 Seznam součástek pro desku plošného spoje s obvodem TAS5630

Tab 9.3 Seznam součástek pro desku plošného spoje s obvodem TAS5630

Označení	Hodnota	Upřesnění
C1 C2 C3 C4 C5 C47 C50 C68	10uF	Elektrolytický kondenzátor velikost 2 x 5 mm
C6 C7 C8 C9 C10	100pF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C11	4,7nF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C12 C38 C40 C41 C42	1nF	Keramický kondenzátor SMD velikost C1210
C13 C14 C15 C17 C18 C19 C48 C49 C64	100nF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C16	330pF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C20 C21 C28 C29	33nF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C22 C23 C30 C31 C37 C52	2,2uF	Keramický kondenzátor SMD velikost C1210
C24 C25 C26 C27	680nF	Fóliový kondenzátor 250V/20% Polypropylen 15mm
C32 C33 C34 C6	1000uF	Elektrolytický kondenzátor velikost 7,5 x 16 mm / 63V
C35 C51	47uF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C63	0,33uF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
C39 C43 C44 C45 C46 C53 C54	10nF	Keramický kondenzátor SMD velikost C0805
IC1	LM317MDT	Stabilizátor napětí pouzdro DPACK
IC2	L78M12	Stabilizátor napětí pouzdro DPACK
L1 L2 L3 L4	7uH	Cívka 7uH/5A jádro s malým THD+N
LED1 LED3 LED4 LED5	Red	Dioda SMD velikost 0805
LED2	Green	Dioda SMD velikost 0805
Q1 Q2 Q3 Q4 Q5	2N7002	Tranzistor 0,115A/60V N-kanál pouzdro SOT-23
R1	22kΩ	Odpor SMD velikost R0805
R2	10kΩ	Odpor SMD velikost R0805
R3 R4 R5 R6 R9 R10 R11 R12 R13 R22 R23 R25	100Ω	Odpor SMD velikost R0805

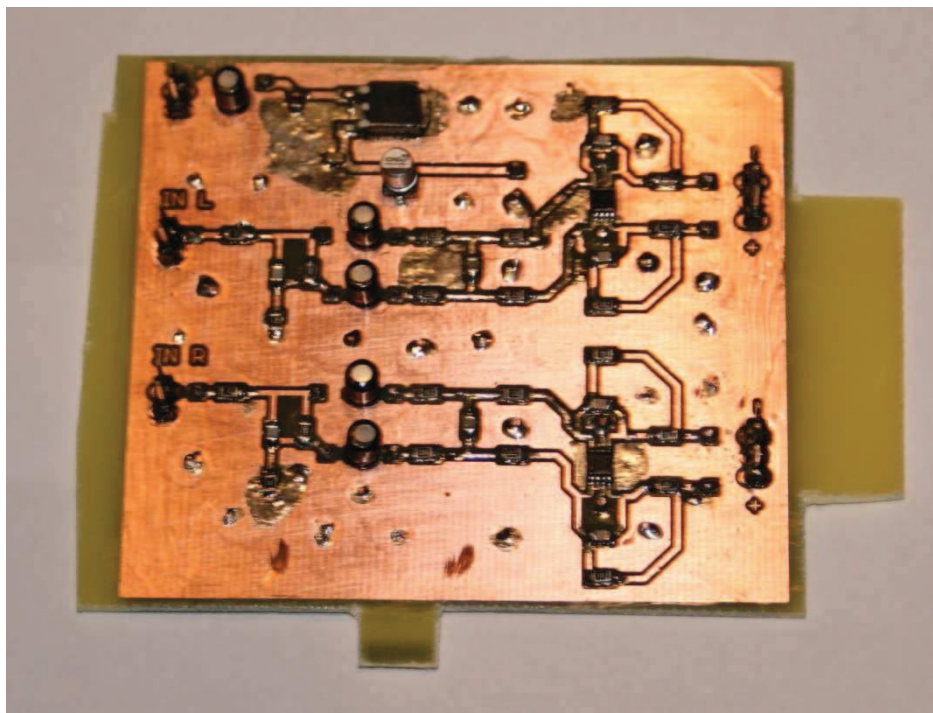
Označení	Hodnota	Upřesnění
R7 R8 R15 R16 R17 R18 R19 R20 R21 R31	3,3Ω	Odpor SMD velikost R0805
R14 R30	47kΩ	Odpor SMD velikost R0805
R24	560Ω	Odpor SMD velikost R0805
R26	1,2kΩ	Odpor SMD velikost R0805
R27	1,8kΩ	Odpor SMD velikost R0805
R28 R29 R53	4,7kΩ	Odpor SMD velikost R0805
JP1 -JP6		Jumper - počítačový konektor
UŠ1	TAS5630phd	IO TAS5630 pouzdro PHD - TEXAS INSTRUMENT
FAN		Konektor na ventilátor

D.4 Seznam ostatních součástek

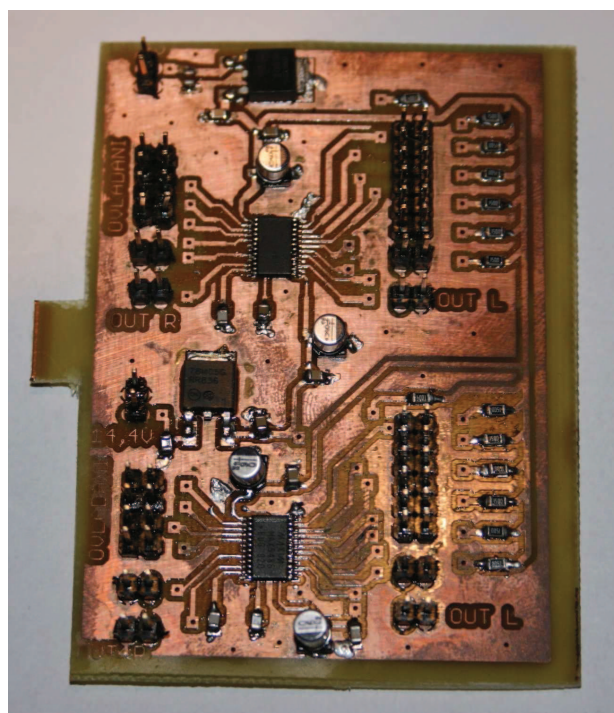
Tab 9.4 Seznam dodatečných součástek

Označení	Hodnota	Upřesnění
Propojovací kabeláž		
Ventilátor	2x	Počítačový ventilátor 80x80 mm
Kovová krabice		Velikost 37 x 9 x 43 cm
Reprosorky		
Vypínač		
Autorelé		12V / 80A
Pojistkové pouzdro		
Pojistka	2x	30A

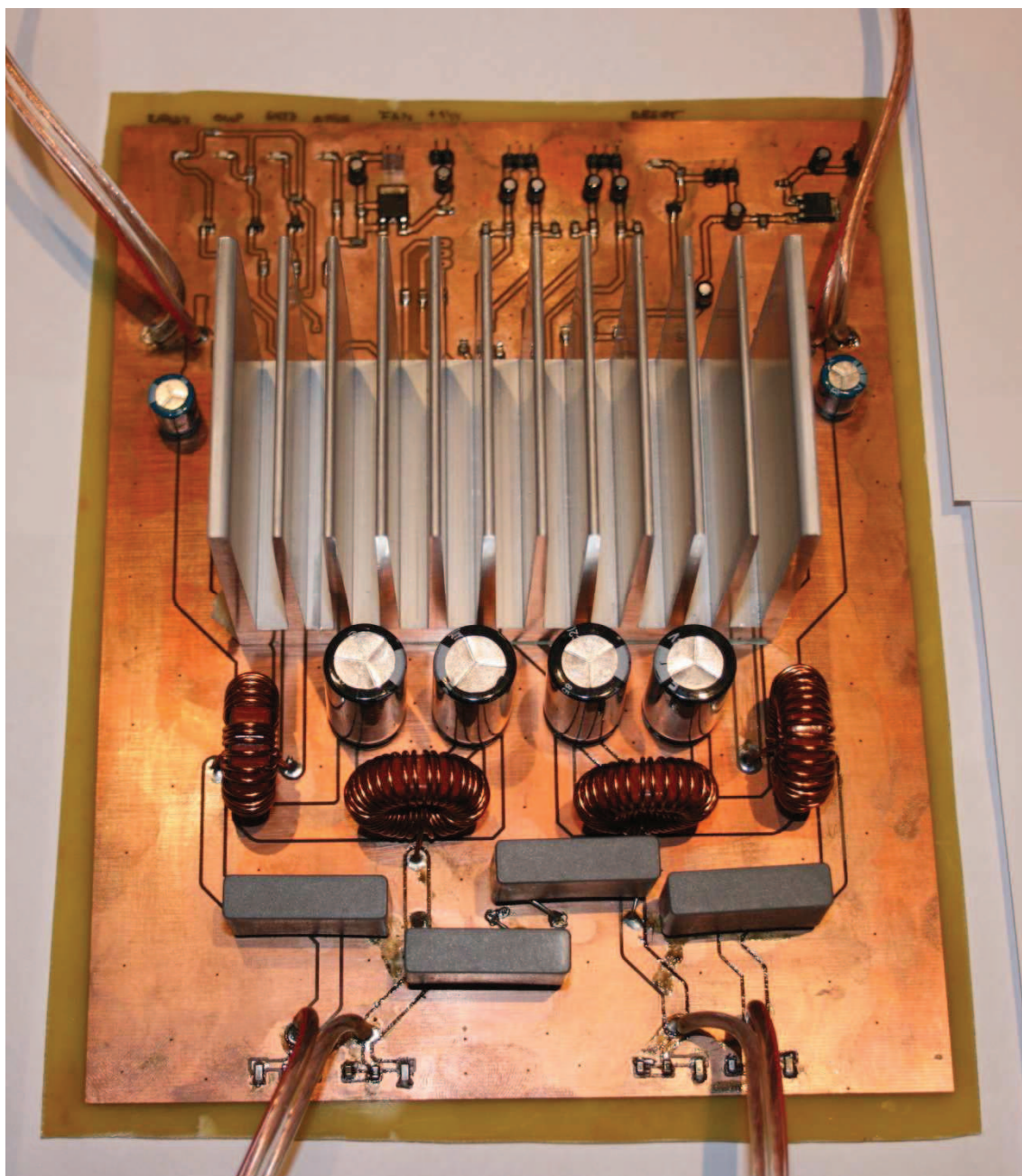
E FOTOGRAFIE



Obr. 9.3 Fotografie zapojení pro úpravu signálu s obvodem OPA1632



Obr. 9.4 Fotografie zapojení digitálního potenciometru s obvodem MAX5486



Obr. 9.5 Fotografie zapojení výstupní části s obvodem TAS5630

